



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره پنجم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

ارائه یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی برای بهینه‌سازی مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصولات کشاورزی تحت شرایط عدم قطعیت عددی

احمدعلی عابدین‌پور^۱، آرمین جبارزاده^۲ و محسن یحیایی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مدیریت سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی، دانشگاه علم و صنعت ایران،

^۲استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، ^۳دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: کشاورزی به‌عنوان یکی از منابع اصلی ثروت در اقتصاد به‌شمار می‌رود؛ بنابراین، کشورهای در حال توسعه برای برون‌رفت از بحران‌های اقتصادی و به‌دلیل نقش به‌سزایی که این بخش در تأمین غذا، رفاه جامعه و در نهایت رشد اقتصاد ملی ایفا می‌کند، آن را سرلوحه برنامه‌های اقتصادی خود قرار می‌دهند. مدیریت و برنامه‌ریزی در خصوص منابع آب کشاورزی بسیار حیاتی است. در این پژوهش، علاوه بر تولید محصول به جنبه واردات آن هم توجه شده است. هدف این پژوهش بررسی ظرفیت زمین برای کاشت و منابع موجود برای تولید محصول است تا از این طریق بتوان در راستای بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان در کشور گام برداشت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش داده‌های مورد مطالعه برگرفته از گزارش‌های مستند از وزارت جهاد کشاورزی و کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران است. در این مطالعه ابتدا یک مدل ریاضی جامع ارائه داده شد که اهدافی مانند کاهش میزان آب مصرفی، افزایش تولید محصولات استراتژیک و توجه به عوامل اجتماعی هم‌چون اشتغال نیروهای محلی را در نظر گرفته است. در واقع، می‌توان تعیین نمود که چه میزان آب برای تولید چه محصولی باید اختصاص یابد تا هم از لحاظ مدیریت جامع منابع آب مفید باشد و هم کشاورزان سود بیشتری داشته باشند. به‌طور عمومی ذات مسائل تصمیم در دنیای واقعی دارای عدم قطعیت می‌باشد و یافتن جواب بهینه و درست بدون توجه به این موضوع موجب تصمیم‌گیری غیرواقعی خواهد شد. اگرچه رویکرد تصمیم‌گیری فازی می‌تواند بسیاری از شرایط غیرقطعی مسأله را در نظر بگیرد، اما این رویکرد دارای محدودیت‌های کاربردی می‌باشد و در بعضی از شرایط ممکن است نتواند عدم قطعیت موجود در دنیای واقعی را به‌خوبی ترسیم نماید. بر همین اساس، مفهوم جدیدی از عدم قطعیت با عنوان عددی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، برای حل مسأله چندهدفه از یک رویکرد چندهدفه تعاملی استفاده شده است. روش مورد استفاده در این پژوهش برنامه‌ریزی ریاضی خطی است و با نرم‌افزار سیپلکس^۱ حل شده است.

* مسئول مکاتبه: arminj@iust.ac.ir

یافته‌ها: در کشور الگوی کشت محصولات کشاورزی بر مبنای نیاز منطقه‌ای، وضعیت ذخایر آبی و میزان صادرات وجود ندارد و این مسأله نه تنها هدررفت منابع آبی را به دنبال داشته که باعث کاهش بهره‌وری و زیان کشاورزان شده است. بدون پیروی از برنامه خاصی، نوسان شدید قیمت محصولات کشاورزی در بازار مصرف وجود دارد. با توجه به استراتژیک در نظر گرفته شدن برخی محصولات کشاورزی مانند گندم، یونجه و جو در پژوهش حاضر، میزان تولید این محصولات نسبت سایر محصولات بیش تر است. در ۲۲٪ از حجم زمین موردنظر محصولی کاشت نخواهد شد و این امر به عواملی همچون منابع موردنیاز برای کاشت و همچنین به صرفه بودن کاشت نسبت به واردات آن بستگی دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که برای مدل، استراتژیک بودن محصولات کشاورزی از اهمیت بالا و میزان تولید آن‌ها از اولویت بیشتری برخوردار است. این پژوهش با توجه به آمار وزارت کشاورزی در سال ۱۳۹۳، ۶۱/۱۸٪ سهم کل محصولات کشاورزی را پوشش می‌دهد که این رقم در مقایسه با مقالات قبل بسیار رقم چشم‌گیری است. از طرفی تحلیل نتایج به دست آمده بر اساس رویکرد عددی بیانگر ارائه یک جواب محافظ کارانه نسبت به سایر روش‌های رویکرد فازی و قطعی است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی چندهدفه، برنامه‌ریزی کاشت، عددی، محصولات کشاورزی

مقدمه

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، مدیریت منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۱). به‌طور میانگین ۷۰ تا ۸۰ درصد از منابع آب شیرین در دسترس جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (۴). از سویی رشد جمعیت این نیاز را به وجود خواهد آورد که تولیدات کشاورزی در سال‌های پیش‌رو باید به مقدار زیادی افزایش یابد تا پاسخگوی نیاز جوامع بشری باشد (۲۰). بر اساس این برنامه‌ریزی می‌توان تعیین نمود که چه میزان آب برای تولید چه محصولی باید اختصاص یابد تا هم از لحاظ مدیریت جامع منابع آب مفید باشد و هم کشاورزان سود بیشتری داشته باشند. این حوزه تصمیم و برنامه‌ریزی در ادبیات موضوع به‌عنوان برنامه‌ریزی تحقیقاتی کاشت^۱ مورد بررسی قرار می‌گیرند (۱۲). پریرا (۲۰۰۲) به بررسی و ارائه مفاهیم مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول با در نظر گرفتن شرایط متفاوت محیطی پرداخت (۲۸). رادولویچ (۱۹۸۷)،

(۱۹۹۰) یک مدل ریاضی برای تصمیم‌گیری در مورد ارزیابی اثربخشی منابع آبی بر روی بازدهی محصول پرداخت و این مدل با در نظر گرفتن اطلاعاتی واقعی از نرخ بارآوری محصولاتی مانند لوبیا و ذرت و برنج برای کشور کاستاریکا مورد استفاده قرار گرفت (۲۴ و ۲۵).

شارما و همکاران (۲۰۰۸) به برنامه‌ریزی تخصیص زمین‌های کشاورزی با رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند. ایشان ملاحظاتی مانند تولید محصول، سود اقتصادی و بهره‌گیری نیروی انسانی و ماشین‌آلات را در شرایط قطعی در نظر گرفتند (۳۱).

در حال حاضر به بهانه کاهش بارندگی و وضعیت وخیم آب‌های زیرزمینی و هدررفت ۹۰ درصدی آب در بخش کشاورزی، کشت تعدادی از اقلام محصولات کشاورزی در بخش‌هایی از کشور ممنوع شده است (۵). در عین حال نبود تشکلهای قوی تعاونی کشاورزان، صنایع تبدیلی مناسب و شبکه توزیع گسترده، پای دلالی و رانت به این بازار باز شده

1- Crop Planning

خواهد بود؛ اما باید توجه داشت که در دنیای واقعی در اختیار داشتن تمام اطلاعات بسیار پرهزینه یا غیرممکن است؛ بنابراین به‌طور عمومی ذات مسائل تصمیم در دنیای واقعی دارای عدم قطعیت می‌باشد (۴۰). با توجه عدم قطعیت دنیای واقعی، رویکردهای تصمیم‌گیری که بتواند این نوع عدم قطعیت داده‌ها را مدنظر قرار دهد، دارای عملکردی مناسب‌تر می‌باشند. یکی از این رویکردها که در مورد توجه پژوهشگران حوزه برنامه‌ریزی کاشت محصول قرار گرفته است، برنامه‌ریزی ریاضی فازی می‌باشد (۱۴-۱۶). اولین بار مجموعه‌های فازی توسط زاده (۱۹۶۵) معرفی شد (۳۷). ایتو و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی بررسی مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول در شرایط عدم قطعیت سود هر واحد محصول و با در نظر گرفتن ملاحظات محدودیت زمین قابل کشت و زمان کشت پرداختند (۱۴). این مسأله بار دیگر توسط تویانگا و همکاران (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت و یک‌رویه حل با رویکرد برنامه‌ریزی فازی امکانی برای آن توسعه داده شد (۳۵). مولینس سنانه و همکاران (۲۰۱۴) مدل ریاضی با هدف حداکثرسازی سود و با در نظر گرفتن ملاحظات واقعی‌تری مانند محدودیت منابع آبی در دسترس و تقاضای بازار برای محصولات قابل کشت را در شرایط قطعی در نظر گرفتند و به بررسی مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول در حوزه رودخانه جوکار- شرق اسپانیا^۱ پرداختند (۱۹). کرمانی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی دیگر مدل ریاضی را همانند مدل مقاله قبل به‌صورت قطعی در نظر گرفته شده است و مطالعه خود را در کانادا انجام دادند (۱۶). ژانگ و گو (۲۰۱۶) مدل ریاضی را با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت محدودیت احتمالی ارائه نمودند (۴۱). ایشان مطالعه موردی خود را بر روی رودخانه حیهه^۲ چین انجام دادند.

و این امر کاهش اشتغال در بخش کشاورزی و خالی شدن روستاها از سکنه را به دنبال خواهد داشت. واردات و قاچاق گسترده میوه و سایر محصولات کشاورزی به‌خصوص محصولات استراتژیک (۹)، نه تنها نظم کشت را برهم زده که وجود رانت واردات در کشور را تقویت کرده و این مسأله باعث شده تا فعالان کشاورزی از تولید به‌سمت واردات و قاچاق محصولات استراتژیک تمایل پیدا کنند که کاهش اشتغال در بخش کشاورزی را در بردارد (۱۷).

در بخش کشاورزی در زمینه تولید در هر استانی مزیت‌ها خاصی وجود دارد که اگر بتوان برای آن الگوگذاری کرد می‌توان با استفاده از منابع داخلی بالاترین میزان بهره‌وری را کسب کرد. هدف اصلی در بخش کشاورزی دستیابی به امنیت غذایی است که لازمه آن توجه در استفاده از منابع و رفع موانع و مشکلات و حمایت از تولیدکننده است. از سال‌های گذشته خودکفایی در تولید برخی از محصولات کشاورزی مانند گندم، برنج، ذرت، دانه‌های روغنی و علوفه در دستور کار بوده اما چون اقتصاد کشاورزی خوب تعریف نشده و حمایت‌های لازم از این بخش صورت نگرفته به این مهم دست یافته نشده است. کشاورزان معمولاً به‌صورت انفرادی کار می‌کنند و تابع دستورالعمل‌های وزارتخانه نیستند و معمولاً خودشان درباره نوع کشت و میزان آن تصمیم‌گیری می‌کند و به همین دلیل برنامه‌ریزی کشاورزی به‌سمت بازار سوق می‌یابد و بازار تعیین‌کننده تولیدات محصولات کشاورزی است. پژوهش حاضر به‌دنبال راه‌حلی برای مدیریت برنامه‌ریزی کاشت و به‌خصوص مدیریت در مصرف منابع آبی است (۲).

به‌طورکلی فرایند تصمیم‌گیری مبتنی بر در اختیار داشتن اطلاعات مناسب در مورد موضوع تصمیم است و هرچه این اطلاعات کامل‌تر و جامع‌تر باشد، فرایند تصمیم‌گیری دارای خروجی قابل قبول‌تری

1- Jucar River

2- Heihe River Basin in Northwest China

را حل کرده و حوزه مورد بررسی را روی حوزه لینسز- گانسو- شمال غربی چین^۵ انجام داده‌اند (۳۹). بسیاری از مسائل دنیای واقعی با عدم اطمینان همراه است و یافتن جواب بهینه و درست بدون توجه به این موضوع موجب تصمیم‌گیری غیر واقعی خواهد شد. تئوری مجموعه‌های فازی می‌تواند گزینه مناسبی برای بیان ابهام و نبود قطعیت در پارامترها باشد. در زمینه برنامه‌ریزی ریاضی فازی، دو موضوع مختلف می‌تواند مورد توجه قرار گیرد: منعطف بودن محدودیت‌ها و تابع هدف و همچنین فازی بودن ضرایب به دلیل نبود اطلاعات یا اطلاعات مبهم. برنامه‌ریزی فازی اولین بار توسط زیمرمن (۱۹۷۸) توسعه یافت (۴۲). ژنگ و همکاران (۲۰۱۸) با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهایی مانند سود، نرخ باروری محصول، آب مصرفی هر محصول برای کشت و میزان منابع آب در دسترس، یک رویکرد برنامه‌ریزی فازی آرمانی را برای مسأله توسعه دادند (۴۰). مدل ارائه شده توسط ایشان در استان گانسو^۶ چین مورد استفاده قرار گرفت. در کنار اهدافی مانند هزینه و بازده، در نظر گرفتن بهبود شرایط اجتماعی مانند اشتغال‌زایی در برنامه‌ریزی‌های کلان و خرد تصمیم‌سازان و برنامه‌ریزان مدنظر می‌باشد. گوپتا و همکاران (۲۰۰۰) و شارما و همکاران (۲۰۰۶) به حداکثرسازی کاشت در فضای قابل کشت و انرژی حاصل از محصولات در سبد غذایی جامعه پرداخته است (۱۰ و ۳۰). ایشان یک روش حل فازی چندهدفه‌ای را برای حل مسأله ارائه دادند و مدل ارائه شده را برای مطالعه و برنامه‌ریزی حوزه رودخانه نارمادا- هند^۷ به کار بردند. اگرچه در دنیای واقعی اکثر پارامترهای مسأله دارای عدم قطعیت می‌باشند، اما

اگرچه در مقالات بیان شده در فوق تنها یک هدف مانند حداکثر کردن سود مدنظر می‌باشد، اما در بسیاری از مسائل دنیای واقعی اهداف متفاوت و در بعضی از شرایط متضاد مانند مسائل اجتماعی و دولتی و مصرف آب توسط برنامه‌ریزان مورد بررسی می‌باشند؛ این امر باعث افزایش پیچیدگی در تصمیم‌گیری مسأله کاشت محصول خواهد شد (۱۸ و ۳۶). سارکر و رای (۲۰۱۷) یک مدل ریاضی چندهدفه با حداقل‌سازی سرمایه‌گذاری را توسعه دادند (۲۹). در این مدل محدودیت‌هایی مانند بودجه در دسترس و میزان واردات مورد ملاحظه قرار گرفت. پژوهش به عمل آمده هوو و همکاران (۲۰۱۵) دارای محدودیت‌هایی مانند مصرف منابع آبی در دسترس و ارضای تقاضا بوده که به صورت قطعی و با روش مجموع وزنی^۱ حل شده است و پژوهش‌های خود را در رودخانه گوجیانگ^۲ جنوب غربی چین به انجام رسانده‌اند (۱۳). ادیمو و اوتینو (۲۰۱۰) نیز علاوه بر معیارهای پژوهشگران قبلی که برای اهداف خود مدنظر قرار داده بودند، حداکثرسازی تولید محصولات کشاورزی را برای پژوهش خود ارائه کردند (۱). آن‌ها همچنین محدودیت به‌کارگیری نیروی انسانی را تعریف کردند. ایشان مدل خود را به صورت قطعی به همراه توجه به تنوع محصول با روش الگوریتم تعاملی چندهدفه^۳ (MDEA) حل کرده و در آفریقای جنوبی مطالعه موردی خود را به انجام رساندند. ژانگ و گوو (۲۰۱۷) با توسعه مقاله قبل با در نظر گرفتن عدم اطمینان در مدل به صورت احتمالی، با روش پیشنهادی (برنامه‌ریزی کسری محدودیت شانس احتمالی دومرحله‌ای)^۴ مسأله خود

1- Weighted-sum

2- Qujiang River

3- Multi-objective differential evolution algorithm (MDEA)

4- Two-stage stochastic chance-constrained fractional programming

5- Linze County in Gansu Province of northwest China

6- Gansu Province

7- Narmada river basin

به صورت مرسوم، مجموعه فازی طبیعت امکانی را مورد نظر قرار می‌داد و خود مجموعه امکانی را قطعی در نظر می‌گرفت؛ اما در زمانی که اطلاعات کافی در اختیار نباشد و اطلاعات به صورت تصادفی است، امکان وقوع آن هم می‌تواند تصادفی باشد که به این حالت طبیعت احتمالی اطلاعات گفته می‌شود. نیاز به مفهوم تازه‌ای وجود داشت تا بتواند طبیعت امکانی و طبیعت احتمالی اطلاعات را با هم در نظر بگیرد. در سال ۲۰۱۱، مفهوم تازه‌ای را از عدم قطعیت توسط زاده بیان شد که علاوه بر در نظر گرفتن طبیعت امکانی یک پارامتر، طبیعت احتمالی آن نیز در نظر گرفته می‌شود (۳۸). این رویکرد (عدد زی) نام‌گذاری شد و در زمینه‌های فراوانی هم چون اقتصاد در مقاله یوپوگلو و همکاران، تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری و ... به کار گرفته شد (۳ و ۸).

با مطرح شدن این مفهوم، برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط عدم اطمینان بیش‌تر از گذشته به واقعیت نزدیک شد. به عنوان مثالی از کاربرد عدد زی در کشاورزی می‌توان شرایط زیر را مدنظر قرار داد:

میزان تقاضای گندم منطقه‌ای خاص، معمولاً حدود ۱۰۰ واحد می‌باشد.

در این عبارت مقدار حدود ۱۰۰ واحد عدد غیرقطعی بوده که درجه اطمینان به آن در سطح معمولاً می‌باشد. در زمانی که این درجه اطمینان بالاتر باشد، می‌توان به جای عبارت "معمولاً" از عبارت "تقریباً قطعی" یا "کاملاً قطعی" استفاده نمود.

نکته قابل‌تأمل آن است که اگرچه این رویکرد مدل‌سازی عدم قطعیت در زمینه تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی دارای اهمیت کاربردی می‌باشد، اما تاکنون از این مفهوم برای برنامه‌ریزی کاشت استفاده نشده است.

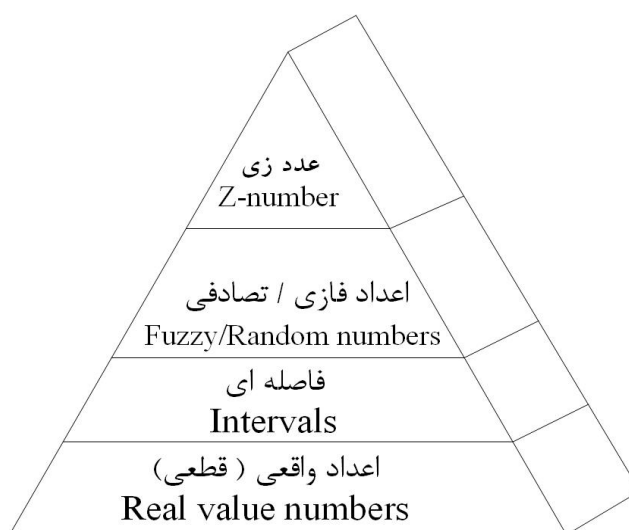
تعدادی کمی از مطالعات این واقعیت را مدنظر قرار دادند.

اگرچه رویکرد تصمیم‌گیری فازی می‌تواند بسیاری از شرایط غیرقطعی مسأله را در نظر بگیرد، اما این رویکرد دارای محدودیت‌های کاربردی می‌باشد و در بعضی از شرایط ممکن است نتواند عدم قطعیت موجود در دنیای واقعی را به خوبی ترسیم نماید. یکی از نارسایی‌های موجود در رویکرد فازی آن است که این رویکرد نمی‌تواند علاوه بر عدم قطعیت در مقدار یک پارامتر، قابلیت اطمینان این مقدار غیرقطعی را نیز مدنظر قرار دهد. از جمله مفاهیمی که شرایط بیان‌شده را می‌تواند به خوبی مورد ملاحظه قرار دهد عدد زی^۱ می‌باشد. این مفهوم توسط زاده (۲۰۱۱) به عنوان یک کلاس جدید از مفهوم عدم قطعیت معرفی شد (۳۸). اعداد زی به صورت جفت $Z = (A, B)$ بیان می‌شود. A و B رفتار Z را نشان می‌دهند. A معمولاً عددی غیرقطعی و فازی و B معیار قطعیت یا قابلیت اطمینان عدد اول را نشان می‌دهد. درجه اطمینان ممکن است به عنوان یک تابع چگالی احتمال یا یک مجموعه فازی بیان شود. در اینجا $Z = \{x \mid x \in A, \text{ با درجه اطمینان } Z \text{ برابر } x\}$ زیرمجموعه A با درجه اطمینان B است. در اعداد فازی کلاسیک شمارنده‌ها تنها مجموعه A را دارند و کاملاً اطمینان دارند که Z متعلق به مجموعه A است. در حالی که در اعداد زی، Z متعلق به مجموعه A با درجه‌ای از اطمینان که با B نمایش داده می‌شود، است. سورودی و آمرایی (۲۰۱۳) به طبقه‌بندی رویکردهای مدل‌سازی عدم قطعیت پرداختند (شکل ۱) و همان‌طور که ملاحظه می‌شود عدد زی از سطح بالاتر توانمندی در مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است (۳۲).

مبتنی بر عدد زی در نظر گرفته شده است تا منجر به واقعی شدن مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول شود.

این مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش اول به شرح مسأله پرداخته شد. بخش دوم و سوم، فرمول‌سازی مسأله و روش حل ارائه شده و نحوه استفاده از آن بیان می‌شود. بخش چهارم و پنجم به ترتیب، نتایج و بحث و نتیجه‌گیری کلی ارائه خواهد شد.

در پژوهش پیشرو، ملاحظات متعددی در مسأله مدنظر قرار گرفته تا بتواند مدل جامعی را برای برنامه‌ریزی کشت ارائه دهد. همچنین، در این پژوهش، عدم قطعیت در پارامترهای مختلف مانند تقاضای محصول، هزینه تولید، قیمت تمام‌شده محصول، آب موردنیاز برای تولید محصول، نرخ بارآوری محصول و نیاز به کارگر، مورد ملاحظه قرار گرفته و یک رویکرد چندهدفه تعاملی ارائه شده است. علاوه بر آن، رویکرد مدل‌سازی عدم قطعیت



شکل ۱- سیر مدل‌سازی رویکردهای مواجهه و مدل‌سازی عدم قطعیت.

Figure 1. Modeling of facing approaches and uncertainty.

هم جزء اهداف این مسأله خواهد بود. هر محصول دارای تقاضا و مصرف آب منحصر به خود است (۷). همچنین در نظر گرفتن واردات محصول، درآمدزایی و ارزش محصولات استراتژیک در این پژوهش از ملاحظات مدل است. در این مسأله، ضمن در نظر گرفتن توانمندی تولید داخلی و محلی، واردات نیز مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، نباید برداشت منابع آبی برای کشاورزی بیش از حد مجاز باشد، از این رو محدودیت استفاده از منابع آبی در این مسأله

مواد و روش‌ها

شرح مسأله: در این پژوهش، مسأله برنامه‌ریزی کاشت برای یک ناحیه کشاورزی خاصی در نظر گرفته می‌شود تا در مورد این‌که چه سطحی از زمین به چه محصولی اختصاص داده شود تا در اهداف مختلفی مانند به حداکثر رساندن سود در مسأله بهینه شوند، تصمیم‌گیری شود. این برنامه‌ریزی در پی آن است تا سیاست‌های دولت در راستای افزایش اشتغال نیروی کار عملی نماید و در نظر گرفتن بعد اجتماعی

$$\max z2 = \sum_{i=1}^n A_i \left((\tilde{p}_i - \tilde{e}xp_i) \tilde{Y}_i - (\tilde{w}_i C_w) \right) + \sum_{i=1}^n I_i IC_i \quad (2)$$

که در آن، \tilde{p}_i قیمت تمام شده محصول i ام توسط بازار (ریال) و $\tilde{e}xp_i$ هزینه تولید برای محصول i ام (ریال)، \tilde{Y}_i نرخ بارآوری محصول i ام (کیلوگرم در هکتار) و C_w هزینه تأمین آب (ریال) می باشد که در مجموع این قسمت نشان دهنده سود فروش محصول تولیدکننده محلی است، IC_i سود فروش محصول وارداتی i ام (ریال) و متغیر تصمیم I_i میزان واردات محصول i ام (کیلوگرم) است.

تابع هدف سوم - حداکثرسازی استفاده از مساحت در دسترس: علاوه بر نگاه سود اقتصادی، این مسأله به دنبال حداکثر کردن میزان استفاده از اراضی کشاورزی است و تا جایی که ممکن است فضای خالی زمین را پوشش دهد. به همین علت تابع هدف سوم (۳) به صورت زیر تعریف شده است:

$$\max z3 = \sum_{i=1}^n \tilde{Y}_i A_i \quad (3)$$

تابع هدف چهارم - حداکثر سازی به کارگیری نیروی کار: دولت به دنبال افزایش میزان اشتغال در سطح جامعه است و این امر به عنوان هدف اجتماعی او محسوب شود که به صورت رابطه ۴ تعریف شده است:

$$\max z4 = \sum_{i=1}^n \tilde{L}_i A_i \quad (4)$$

مورد ملاحظه قرار گرفته است. اهمیت محصولات استراتژیک مانند گندم و ... نیز در دستور کار قرار داده شده است (۶).

فرموله سازی مسأله: مسأله مورد بررسی ما شامل پنج تابع هدف و چهار دسته محدودیت به ترتیب زیر است:

تابع هدف اول - حداقل سازی مصرف منابع آب: با توجه به اهمیت مصرف منابع آبی، این تابع هدف سعی می کند تا مصرف منابع آبی را بهینه سازد که به صورت رابطه ۱ است:

$$\min z1 = \sum_{i=1}^n \tilde{w}_i A_i \quad (1)$$

که در آن، پارامتر \tilde{w}_i حجم آب مورد نیاز برای محصول i را نشان می دهد و پارامتری غیرقطعی است، A_i متغیر تصمیم مسأله کاشت بوده و عبارت است از مساحت تخصیص یافته محصول i ام برای کشت و n نشان دهنده محصولات مورد ملاحظه برای انتخاب کشت می باشد.

تابع هدف دوم - حداکثر سازی سود اقتصادی: در مسأله کاشت، منافع مالی نیز از جمله ملاحظات مهم برنامه ریزان می باشد و این امر به دو طریق مدنظر قرار می گیرد؛ ابتدا با فروش محصولات تولیدی و سپس فروش محصولات وارداتی است. البته با توجه به این واقعیت که محصول وارداتی مشمول هزینه هایی مانند گمرک و ... می باشند، سود کمتری نسبت به تولید داخلی برای آن ها مدنظر قرار می گیرد. این هدف در رابطه ۲ نشان داده می شود؛

۱- در این مقاله تمام پارامترهای غیرقطعی به همراه (˜) نمایش داده می شوند.

محدودیت دوم- محدودیت استفاده از منابع آبی در دسترس: منابع آب در دسترس در ناحیه کاشت محدود می‌باشد و این محدودیت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i A_i \leq W \quad (7)$$

که در آن، W حداکثر میزان برداشت مجاز از منابع آب در دسترس (لیتر) در دوره برنامه‌ریزی می‌باشد.

محدودیت سوم- محدودیت تعادلی تقاضا: در این مسأله کمبود و مازاد وجود ندارد و مسأله با تعادلی که بین تولید و واردات به وجود می‌آورد، سعی در پاسخ‌دهی تقاضاها دارد. به همین منظور خواهیم داشت:

$$\tilde{Y}_i A_i + I_i = \tilde{D}_i \quad \forall i \quad (8)$$

که در آن، \tilde{D}_i تقاضا برای محصول نام می‌باشد. محدودیت چهارم- محدودیت واردات: ممکن است امکان پاسخ‌گویی به تقاضای مسأله با صرف تکیه بر تولید داخلی امکان‌پذیر نباشد. ممکن است بخشی از تقاضا با استفاده از واردات پاسخ‌دهی شود. ولی این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که مسأله واردات نیز دارای محدودیت است که به صورت رابطه ۹ تعریف شده است:

$$I_i \leq IL_i \quad \forall i \quad (9)$$

که در آن، \tilde{L}_i نرخ نیاز به کارگر (نفر- ساعت در هر هکتار) است.

تابع هدف پنجم- حداکثر رساندن تولید محصولات مهم و استراتژیک: محصولات استراتژیک به محصولاتی گفته می‌شود که سهم اساسی در سبد خانوارها چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم داشته باشد. محصولاتی هم چون گندم، جو و پنبه در کشور ایران به عنوان محصولات استراتژیک شناخته شده و این امر در مدل لحاظ شده و محصولات با توجه به اهمیت استراتژیک آن‌ها ارزش‌گذاری شده‌اند (جدول ۱). تابع هدف به صورت زیر نمایش داده شده است:

$$\max z5 = \sum_{i=1}^n R_i A_i \quad (5)$$

که در آن، R_i نشان‌دهنده ارزش و اهمیت محصول برای کشاورز است که در جدول ۱ نشان داده شده است.

محدودیت اول- محدودیت حداکثر فضای قابل کشت: مقدار مساحت ناحیه قابل کاشت موردنظر در این مسأله محدود است و این محدودیت به صورت زیر تعریف شده است:

$$\sum_{i=1}^n A_i \leq A \quad (6)$$

که در آن، A حداکثر فضای قابل کشت است.

اگر اعداد فازی (\tilde{A}, \tilde{B}) گسسته باشند، به آن عدد زی گسسته و اگر پیوسته باشند عدد زی پیوسته می‌گویند. اگر یک عدد اسکالر در $Z = (\tilde{A}, \tilde{B})$ ضرب شود، خواهیم داشت:

$$\lambda Z = \lambda(\tilde{A}, \tilde{B}) = (\lambda\tilde{A}, \lambda\tilde{B}) \quad (12)$$

با توجه به این واقعیت که مجموعه عدد زی شامل دو مجموعه عدد فازی منظم است، می‌توان برای تبدیل آن به یک مجموعه فازی طبق الگوریتم ارائه شده در (۳۲) ابتدا بخش دوم یعنی مجموعه \tilde{B} با استفاده از روش مرکز ثقل به یک عدد ثابت تبدیل شود. بر همین مبنا خواهیم داشت:

$$\alpha = \frac{\int x \mu_{\tilde{B}}(x) dx}{\int \mu_{\tilde{B}}(x) dx} \quad (13)$$

که در آن، α نشان‌دهنده عدد ثابت به وجود آمده از مجموعه دوم فازی است؛ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ و $\mu_{\tilde{B}}(x)$ به ترتیب توابع عضویت اعداد فازی \tilde{A} و \tilde{B} است. حال، یک مجموعه فازی و یک عدد ثابت در دسترس است که تشکیل یک عدد فازی نامنظم را می‌دهد، برای تبدیل آن به عدد فازی منظم از رابطه ۱۴ استفاده می‌شود:

$$\mu_{\tilde{Z}}(x) = \mu_{\tilde{A}}\left(\frac{x}{\sqrt{\alpha}}\right) \quad (14)$$

موارد مطرح شده فوق را با یک مثال عددی پی می‌گیریم. ابتدا با یک مثال عددی مراحل بیان شده را اعمال می‌کنیم.

محدودیت پنجم - محدودیت دامنه متغیرها: متغیرهای تصمیم مسأله نباید مقداری منفی به خود بگیرند، بنابراین، خواهیم داشت:

$$A_i \geq 0 \quad \forall i \quad (10)$$

$$I_i \geq 0 \quad \forall i \quad (11)$$

روش حل: مسأله ارائه شده یک مسأله چندهدفه با عدم قطعیت از نوع عدد زی است. در ابتدا تعریفی از این مفهوم بیان خواهد شد و سپس با استناد به آن مسأله را بازنویسی و حل خواهد شد.

تعریف: عدد زی یک زوج مرتبی مانند $Z = (\tilde{A}, \tilde{B})$ می‌باشد که در آن \tilde{A} عددی فازی است که محدودکننده فازی برای مقادیری است که متغیر غیرقطعی X ممکن است اتخاذ کند. به عنوان مثال، در مورد میزان مصرف محصول گندم (X)، می‌توان گفت که حدود ۱۰۰ واحد است (A). به عبارت دیگر:

میزان مصرف گندم حدود ۱۰۰ واحد است (و یا به عبارت دقیق‌تر X is \tilde{A}).

همچنین، \tilde{B} مجموعه قابلیت اطمینان مجموعه \tilde{A} را بیان می‌کند و یک عدد فازی است با تابع عضویت $\mu_{\tilde{B}}: \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \rightarrow [0, 1]$ و $\{b_1, b_2, \dots, b_n\} \subset [0, 1]$ و به عنوان محدودکننده فازی برای شاخص احتمال \tilde{A} است. در ادامه مثال قبل می‌توان گفت که احتمال حدود ۱۰۰ واحد مصرف تقریباً قطعی است (\tilde{B}) به عبارت دیگر: احتمال \tilde{B} است (و یا به عبارت دقیق‌تر \tilde{B} is $\tilde{P}(\tilde{A})$).

جدول ۱- اطلاعات محصول.

Table 1. Product Information.

محصولات صنعتی Industrial products		حبوبات Beans		غلات Cereals			سهام (%) Partition (%)	ارزش استراتژیک (%) Strategic value (%)			
کلزا Rapeseed	آفتابگردان روغنی Oilseed sunflower	سویا Soya	چغندر قند Sugar beet	پنبه Cotton	عدس Lentils	لوبیا Bean			نخود Pea	برنج Rice	جو Barley
0.0008	0.0001	0.0018	0.072	0.0023	0.001	0.0028	0.0025	0.03	0.04	0.015	0.15
0.015	0.031	0.015	0.061	0.153	0.015	0.015	0.015	0.092	0.153	0.002	0.153

۱۰

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

نباتات علوفه‌ای Forage plants		محصولات جالیزی Jaliz products		سبزیجات Vegetables			سهام (%) Partition (%)	ارزش استراتژیک (%) Strategic value (%)
یونجه Alfalfa	هندوانه Watermelon	خیار Cucumber	سیب‌زمینی Potato	پیاز Onion	گوجه‌فرنگی Tomato			
0.078	0.048	0.02	0.067	0.0003	0.078			
0.076	0.046	0.046	0.061	0.046	0.006			

جدول ۲- مثال عددی از عدد زی در مسأله کشاورزی.

Table 2. A numerical example of a number in an agricultural problem.

w	i
B	A
(0.5,0.7,0.9; 1)	(2750,2800,2830,2860; 1)
	گندم Wheat

مسأله فوق تبدیل به یک مسأله فازی چندهدفه شده است، برای حل مسأله فازی، ابتدا باید مدل از حالت فازی به قطعی تبدیل شود. برای این کار از روش رتبه‌بندی اعداد فازی با استفاده از مقایسه بازه انتظاری استفاده می‌شود.

روش رتبه‌بندی اعداد فازی: این روش توسط خیمنز (۲۰۰۷) برای مواجهه با عدم قطعیت فازی استفاده شده است که توسط هاتفی و همکاران (۲۰۱۴) تعمیم یافته است (۱۱ و ۱۵).

با توجه به آنچه در بالا بیان شد مدل فازی را می‌توان به صورت رابطه ۱۷، به مدل قطعی تبدیل کرد:

$$\begin{aligned} & \min EV(\tilde{C})x \\ & s. t. \\ & x \in \{x \in R^n | \tilde{A}x \geq_{\alpha} \tilde{B}, x > 0\} \end{aligned} \quad (17)$$

مدل فازی اولیه مسأله را با این روش برای تابع هدف اول در رابطه ۱۸ و همچنین محدودیت دوم با رابطه ۱۹ به مدل قطعی تبدیل خواهیم کرد:

$$\min z1 = \sum_{i=1}^n EV(\tilde{w}_i)A_i = \sum_{i=1}^n A_i \left(\frac{W_i^1 + W_i^2 + W_i^3 + W_i^4}{4} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^4 \frac{A_i W_i^n}{4} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_i A_i + I_i = \tilde{D}_i & \Rightarrow \begin{cases} I_i + \tilde{Y}_i A_i \geq \tilde{D}_i \\ I_i + \tilde{Y}_i A_i \leq \tilde{D}_i \end{cases} \\ \Rightarrow \begin{cases} I_i + \left(\alpha \sum_{n=1}^2 \frac{Y_i^n}{2} + (1-\alpha) \sum_{n=3}^4 \frac{Y_i^n}{2} \right) A_i \geq \left((1-\alpha) \sum_{n=1}^2 \frac{D_i^n}{2} + \alpha \sum_{n=3}^4 \frac{D_i^n}{2} \right); \forall i \\ I_i + \left((1-\alpha) \sum_{n=1}^2 \frac{Y_i^n}{2} + \alpha \sum_{n=3}^4 \frac{Y_i^n}{2} \right) A_i \leq \left(\alpha \sum_{n=1}^2 \frac{D_i^n}{2} + (1-\alpha) \sum_{n=3}^4 \frac{D_i^n}{2} \right); \forall i \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود این پارامترها مبتنی بر مجموعه اعداد عدد زی تعریف شده که خود دارای دو مجموعه فازی می‌باشند.

$$\alpha_{\tilde{w}_{\text{گندم}}} = \frac{0.5 + 0.7 + 0.9}{3} = 0.7 \quad (15)$$

که در آن، با به دست آوردن α مجموعه فازی به صورت $Z_{\tilde{w}_{\text{گندم}}}^{\alpha} = (2750, 2800, 2830, 2860; 0.7)$ است

که یک مجموعه فازی نامنظم است و باید آن را تبدیل به منظم کرد:

$$\begin{aligned} Z_{\tilde{w}_{\text{گندم}}} & \\ & = (202\sqrt{0.7}, 232\sqrt{0.7}, 242\sqrt{0.7}, 262\sqrt{0.7}; 1) \\ & = (167.66, 192.56, 200.86, 217.46; 1) \end{aligned} \quad (16)$$

حال با توجه به رابطه ۱۶ دو مجموعه فازی منظم به یک مجموعه فازی منظم رسید و بقیه مجموعه‌ها نیز به همین صورت به دست خواهد آمد.

برای به دست آوردن ایدئال مثبت کافی است مقدار بهینه همان تابع هدف را جداگانه با حل به همراه محدودیت‌ها به دست آورد و به صورت $(Z_1^{\alpha-PIS}, x_1^{\alpha-PIS})$ و ... $(Z_5^{\alpha-PIS}, x_5^{\alpha-PIS})$ نشان داد. برای به دست آوردن ایدئال منفی کافی است مقادیر به دست آمده $x_1^{\alpha-PIS}$ و ... $x_5^{\alpha-PIS}$ را در هر تابع هدف قرار داد و بدین صورت: $(Z_1, x_2^{\alpha-PIS})$ و ... $(Z_1, x_5^{\alpha-PIS})$. حال بدترین مقداری که هر تابع هدف (مانند $Z_1^{\alpha-NIS}$) گرفت به عنوان جواب ایدئال منفی انتخاب می‌شود. این بدترین جواب به نوع تابع هدف اولیه وابسته است، بدین صورت که اگر حداقل سازی باشد، بیشترین جواب برای آن به عنوان ایدئال منفی انتخاب می‌شود و بالعکس.

گام پنجم - تعیین تابع درجه عضویت خطی برای هر تابع هدف به صورت زیر:

$$\mu_1(x) \begin{cases} 1 & Z_1 < Z_1^{\alpha-PIS} \\ \frac{Z_1^{\alpha-NIS} - Z_1}{Z_1^{\alpha-NIS} - Z_1^{\alpha-PIS}} & Z_1^{\alpha-PIS} \leq Z_1 \leq Z_1^{\alpha-NIS} \\ 0 & Z_1 \leq Z_1^{\alpha-NIS} \end{cases} \quad (20)$$

به همین ترتیب برای توابع هدف دیگر در رابطه ۲۰ خواهیم داشت، بدین صورت که $\mu_i(x)$ نشان‌دهنده درجه مطلوبیت تابع هدف i -ام است. مطابق این روش، تابع عضویت فازی تابع هدف اول در شکل ۲ نشان داده شده است و برای توابع دیگر هم به همین صورت قابل نمایش خواهد بود.

گام ششم - تبدیل تابع چندهدفه به تابع تک‌هدفه با استفاده از روش TH:

$$\max \lambda(x) = \gamma \lambda_0 + (1 - \gamma) \sum_h \theta_h \mu_h(x) \quad (21)$$

$$\text{s.t.} \quad \lambda_0 \leq \mu_h(x) \quad h = 1.2. \dots 5$$

با انجام تبدیلات فوق، مدل فازی چندهدفه به یک مدل قطعی چندهدفه تبدیل شده است. با توجه به آن که حل مسأله چندهدفه به صورت مستقیم امکان‌پذیر نیست، باید مدل چندهدفه به صورت یک مدل تک‌هدفه بازنویسی شود. در ادامه نحوه برخورد مدل چندهدفه بیان شده است.

حل مسأله چندهدفه با رویکرد تعاملی TH^۱: تاکنون روش‌های متعددی توسط پژوهشگران برای حل مسائل چندهدفه توسعه داده شده است (۳۴). از میان آن‌ها، روش برنامه‌ریزی فازی به علت داشتن توانایی اندازه‌گیری سطح قابلیت اطمینان هر تابع هدف به صورت مستقیم از اهمیت بالایی برخوردار است. این رویکرد ابتدا توسط زیمرمن (۱۹۷۸) با نام روش min-max بیان شد (۴۲). به علت کارایی پایین این روش، ساکاو و همکاران (۱۹۸۷) برای بهبود این روش رویکرد فازی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه^۲ ارائه کرد (۲۶). ترابی و حسینی (۲۰۰۸) روش تک‌فازی جدیدی از این رویکرد را با نام TH ارائه کرده‌اند و که در این مقاله نیز از این روش بهره گرفته شده است (۳۴).

گام‌های این رویکرد به صورت زیر می‌باشد:

گام اول - تعیین نوع فازی مثلثی یا دوزنقه‌ای برای مسأله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و فرمول‌بندی کردن مسأله.

گام دوم - تبدیل توابع هدف نامنظم به یک تابع ثابت^۳ با استفاده از مقادیر پارامترها.

گام سوم - تعیین حداقل مقدار قابلیت اطمینان درجه تصمیم‌گیری α و تبدیل محدودیت‌های فازی به محدودیت ثابت و تشکیل مدل.

گام چهارم - تعیین ایدئال مثبت $(\alpha - PIS)$ و ایدئال منفی $(\alpha - NIS)$ برای هر تابع هدف.

- 1 - Torabi and Hassini Interactive approach
- 2 - Multi-objective linear programming
- 3 - crisp

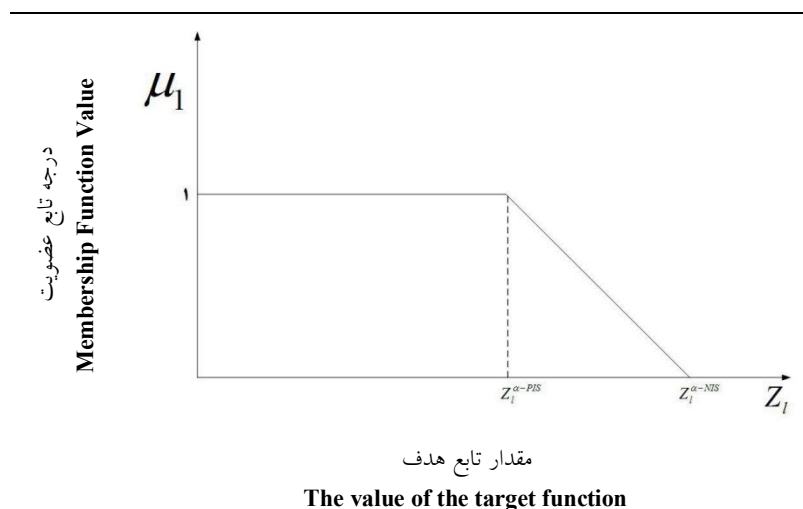
به طور جداگانه حل و بهترین جواب شدنی برای همان تابع هدف را ثبت خواهیم کرد. سپس مقادیر به دست آمده از توابع هدف را در اهداف دیگر گذاشته و مقادیر را در جدول مورد نظر ثبت می کنیم، بدترین جواب برای هر تابع هدف را به عنوان ایدئال منفی انتخاب می کنیم.

با توجه به جدول ۴، رابطه ۲۰ را به دست آورده و در مدل (۲۱) جایگزین می شود. حال با تعیین مقادیری برای θ_h و γ الگوریتم را ادامه می دهیم مقدار θ_h مطابق با جدول ۳ و همچنین $\gamma = 0.4$ تعیین می شود.

که در آن، θ_h و γ به ترتیب نشان دهنده اهمیت تابع هدف h -ام و ضریب مؤثر هستند. همچنین مقدار اپراتور و مجموع وزنی اپراتور بر اساس مقدار γ می باشد.

گام هفتم- تعیین مقدار ضریب مؤثر γ و درجه اهمیت تابع هدف θ_h و حل مدل تک هدفه نهایی. رویکرد حل: خلاصه ای از رویکرد استفاده شده در این پژوهش در شکل ۵ آورده شده است.

مطابق با رویکرد حل پیشنهادی، برای دستیابی به نقاط ایدئال مثبت و منفی هر تابع هدف که به ترتیب با (*) و (-) نمایش داده شده است، ابتدا توابع هدف را



شکل ۲- درجه مطلوبیت تابع هدف اول.

Figure 2. The degree of utility of the first objective function.

داده است. در این پژوهش مساحت کل زمین مورد نظر میانگین کل مساحت ۳۲ استان کشاورزی کشور و به همین ترتیب تقاضا برای محصولات و واردات مجاز را نیز به صورت میانگین تقاضای این استانها در نظر گرفته شده است.

مسأله مورد نظر این پژوهش، برای دوره یکساله برنامه ریزی شده است. محصولاتی که مورد بررسی

نتایج و بحث

اطلاعات این پژوهش از منابع معتبری همچون وزارت جهاد کشاورزی و کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران گرفته شده است. آمار منتشر شده در گزارش وزارت جهاد کشاورزی مربوط به سال ۱۳۹۳ است که ۳۲ استان کشور را از لحاظ کاشت و برداشت محصولات زراعی و ... مورد تحلیل و بررسی قرار

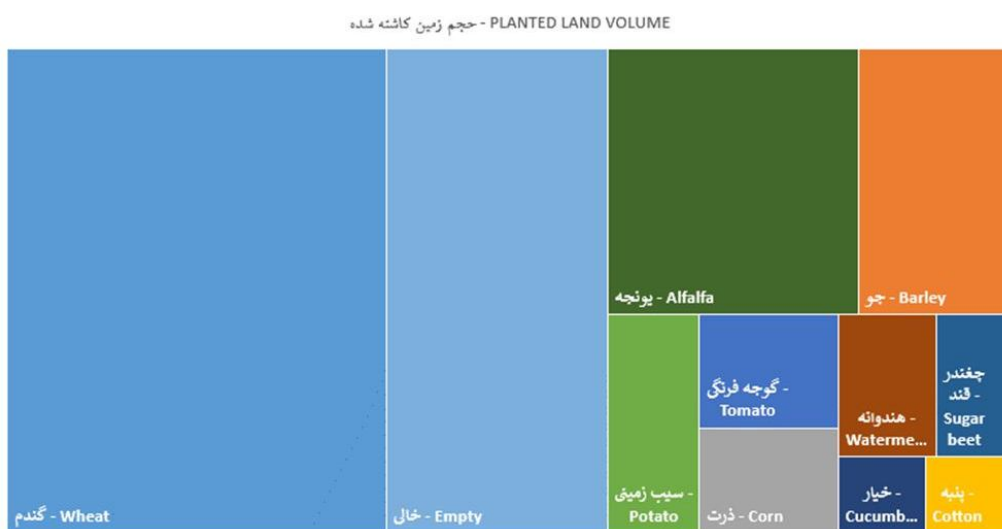
همچنین میزان واردات از هر محصول به ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

همان‌طور که در ستون آخر جدول ۵ ملاحظه می‌شود، با حل مدل برای تمام توابع هدف مساحت‌های نهایی تخصیص داده شده به هر محصول به دست آمده است که در شکل ۳ نمایشی از مساحت‌های تخصیص داده شده به علاوه مساحت زمینی که از آن استفاده نشده ارائه شده است.

هدف اصلی این مسأله وارد کردن عدم قطعیت از نوع عدد زی در مسائل برنامه‌ریزی کشت بوده است، از این‌رو مسأله برای حالات عدم قطعیت فازی و در شرایط قطعیت کامل حل و نتایج به دست آمده در جدول ۷ و شکل ۴ ارائه شده است.

برای برنامه‌ریزی کاشت شامل غلات، حبوبات، محصولات صنعتی و ... می‌باشند. جزئیات این دسته‌بندی در جدول ۱ نشان داده شده است. پارامتر حجم آب موردنیاز برای محصول گندم را در جدول ۲ آمده است. این پژوهش با توجه به آمار وزارت کشاورزی در سال ۱۳۹۳، ۶۱/۱۸ سهم کل محصولات کشاورزی را پوشش می‌دهد که این رقم در مقایسه با مقالات قبل بسیار رقم چشم‌گیری است.

در این پژوهش برای حل مدل، ابتدا تمام توابع هدف مسأله را یک‌بار به صورت تک‌هدفه حل کرده و بعد با استفاده از روش TH با در نظرگیری تمام اهداف مدل حل شد و نتایج به دست آمده به صورت مساحت تخصیص داده شده برای هر محصول و

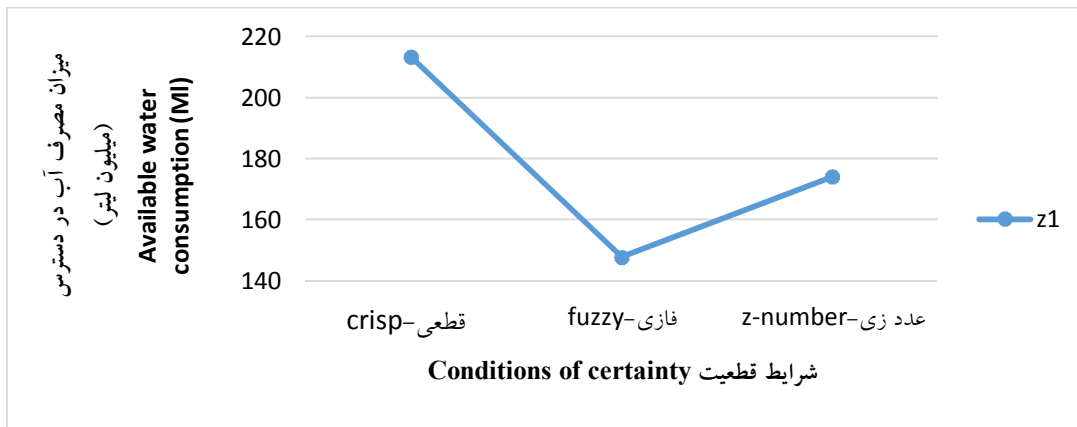


شکل ۳- مساحت زمین استفاده شده برای کاشت محصول.

Figure 3. The used area for planting.

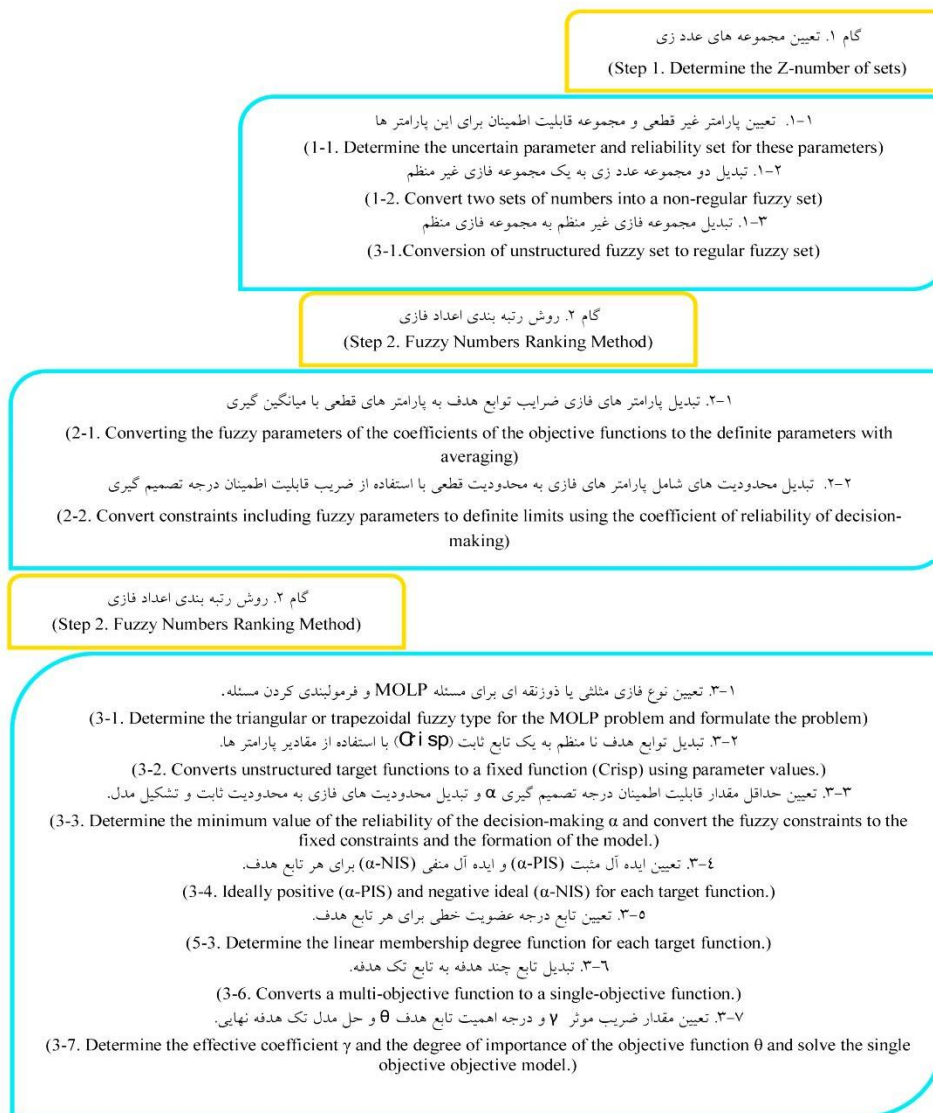
از این‌رو جوابی که در شرایط عدم قطعیت عدد زی از مسأله دریافت کردیم محافظ کارانه‌تر از دو حالت دیگر که در ادبیات مورد بررسی قرار گرفت می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۴ به عنوان نماینده دیگر توابع هدف مشاهده کردیم، پاسخی که در عدم قطعیت عدد زی به دست آمده بین پاسخ‌هایی است که شرایط یا به صورت قطعیت کامل است و یا به صورت فازی.



شکل ۴- نمایش حل مدل تحت شرایط قطعی، فازی و عدد زی.

Figure 4. Solution of the model's solving under Deterministic, fuzzy and z-numbers conditions.



شکل ۵- رویکرد حل مسأله.

Figure 5. The proposed approach to solve the problem.

جدول ۳- وزن توابع هدف.

Table 3. Weight of target functions.

حداکثرسازی تولید محصولات استراتژیک	حداکثرسازی به‌کارگیری نیروی کار	حداکثرسازی تولید محصولات	حداکثرسازی سود اقتصادی	حداقل‌سازی مصرف منابع آب
Maximize the production of strategic products (%)	Maximize the use of labor (%)	Maximizing production of products (%)	Maximizing economic profit (%)	Minimize water resources consumption (%)
0.23	0.14	0.1	0.33	0.2
θ_n (%)				

جدول ۴- مقادیر توابع هدف با جایگذاری جواب حل هر یک از اهداف.

Table 4. The values of target functions by placing the solution to each of the goals.

تابع هدف اول (هزار لیتر)	تابع هدف دوم (میلیون ریال)	تابع هدف سوم (هزار تن)	تابع هدف چهارم (هزار نفر ساعت در هر هکتار)	تابع هدف پنجم (میلیون تن)
First objective function (Thousand liter)	Second objective function (million Rials)	Third objective function (Thousand tons)	Fourth objective function (Thousand one of hours per ha)	Fifth objective function (Million tons)
107512*	249993 ⁻	473292 ⁻	22242*	16951*
1524834 ⁻	4704123*	108369	19780	20840
7356 ⁻	15968	1098886*	15589	15957

* نشان‌دهنده بهترین جواب و "-" نشان‌دهنده بدترین جواب تابع هدف است.

جدول ۵- مساحت کشت شده در توابع هدف‌های مختلف.

Table 5. The area cultivated in different target functions.

سطح زیر کشت محصولات کشاورزی	سطح زیر کشت (هکتار) محصولات کشاورزی تحت تابع هدف ... Cultivated area of agricultural products by considering objective function ...					محصول Product
	تحت تابع هدف با روش TH The cropping area under the target function with the TH method	حداکثر سازی تولید محصولات استراتژیک Maximizing the production of strategic products	حداکثرسازی به‌کارگیری نیروی کار Maximizing the use of labor	حداکثرسازی تولید محصولات Maximizing the production of products	حداکثرسازی سود اقتصادی Maximizing economic profit	
52773	65796	65796	65796	54849	28893	گندم Wheat
11803	26082	20478	15883	26082	11803	جو Barley
4186	1799	4186	4186	4186	1799	ذرت Corn
1799	1799	1799	807	1799	807	پنبه Cotton
4539	4539	4539	4539	4539	2010	گوجه‌فرنگی Tomato
0	3717	0	11188	11188	0	برنج Rice
5785	5785	2532	5785	5785	2532.392	سیب‌زمینی Potato
3126	3126	14073	3126	3126	1407	چغندر قند Sugar beet
4023	4023	1726	4023	4023	1726	هندوانه Watermelon
17	17	17	17	17	0	پیاز Onion
0	0	1734	1734	0	0	سویا Soya
0	0	12374.71	0	0	0	نخود Pea
0	0	2666	0	0	0	لوبیا Bean
0	0	0	0	0	0	عدس Lentil
0	0	0	0	0	0	کلزا Rapeseed
93	93	93	93	93	93	آفتابگردان روغنی Sunflower
1904	1904	1537	1904	1904	843	خیار Cucumber
19110	19110	19110	19110	19110	8427	یونجه Alfalfa

جدول ۶- حجم واردات با توجه به توابع هدف‌های مختلف.

Table 6. Import volume according to different objective functions.

میزان واردات با استفاده از روش TH Amount of imports by using the TH method	واردات (هزار تن) محصولات کشاورزی تحت تابع هدف ... Imports of agricultural products (Thousand tons) by considering objective function ...					محصول (Product)
	حداکثر رساندن تولید محصولات استراتژیک Maximizing the production of strategic products	حداکثر رساندن به‌کارگیری نیروی کار Maximizing the use of labor	حداکثر رساندن تولید محصولات Maximizing the production of products	حداکثر رساندن سود اقتصادی Maximizing economic profit	حداقل رساندن مصرف منابع آب Minimizing water resources consumption	
54750	0	0	0	46020	76134	گندم Wheat
21171	0	17484	21171	0	21171	جو Barley
0	7735	0	0	0	7735	ذرت Corn
0	0	0	1170	0	1170	پنبه Cotton
0	0	0	0	0	39746	گوجه‌فرنگی Tomato
57064	22980	45652	0	0	45652	برنج Rice
0	0	33945	0	0	33945	سیب‌زمینی Potato
0	0	36947	0	0	36947	چغندر قند Sugar beet
0	0	24530	0	0	24530	هندوانه Watermelon
0	0	0	0	0	460	پیاز Onion
3406	2726	0	0	3406	2726	سویا Soya
4677	3742	0	3742	4677	3742	نخود Pea
5177	4142	0	4142	5177	4142	لوبیا Bean
1956	1565	1565	1565	1956	1565	عدس Lentil
1425	1141	1141	1141	1425	1141	کلزا Rapeseed
50	50	50	50	50	50	آفتابگردان روغنی Sunflower
0	0	7473	0	0	10432	خیار Cucumber
0	0	0	0	0	39288	یونجه Alfalfa

جدول ۷- حل مدل در شرایط قطعیت، عدم قطعیت فازی و عدد زی.

Table 7. Solving the model in terms of certainty, fuzzy uncertainty and z-number.

حداکثر رساندن تولید محصولات استراتژیک (تن)	حداکثر رساندن به کارگیری نیروی کار (هزار نفر ساعت در هر هکتار)	حداکثر رساندن تولید محصولات (هزار تن)	حداکثر رساندن سود اقتصادی (میلیون ریال)	حداقل رساندن مصرف منابع آب (هزار لیتر)	
Maximize the production of strategic products (tons)	Maximizing the use of labor (Thousand one of hours per ha)	Maximizing the production of products (Thousand tons)	Maximizing economic profit (million Rials)	Minimize water resources consumption (Thousand liters)	
13681	20480	1001801	$5.87 \times 10^{+6}$	213368	قطعی Deterministic
10708	15019	924753	$5.57 \times 10^{+6}$	147810	فازی Fuzzy
12446	16828	973353	$5.79 \times 10^{+6}$	174142	عدد زی Z-number

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه، یک مدل برنامه ریزی کاشت برای محصولات کشاورزی در شرایط عدم اطمینان ارائه شد. عدم قطعیت موجود در مدل به صورت عدد زی بوده است. در ادامه برای حل مدل برنامه ریزی خطی چندهدفه فازی، با استفاده از روش رتبه بندی فازی، به قطعی تبدیل شد. برای نشان دادن اعتبار و عملکرد مدل پیشنهادی، مدل با استفاده از داده هایی که از وزارت کشاورزی و همچنین کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران جمع آوری شد، با در نظر گرفتن داده های فازی و عدد زی و به ازای مقادیر مختلف (α) توسط نرم افزار (سیپلکس) حل شد. همچنین با به کارگیری رویکردی تعاملی، مسأله با اهداف حداقل سازی مصرف منابع آب، حداکثر سازی سود اقتصادی، حداکثر سازی تولید محصولات، حداکثر سازی به کارگیری نیروی کار و حداکثر سازی تولید محصولات استراتژیک مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصله نشان دهنده آن است که محصولاتی مانند گندم، یونجه و جو دارای بیشترین مطلوبیت کشت می باشند.

سپس برای مقایسه عدد زی با شرایط قطعیت کامل و همچنین فازی جواب نهایی نسبت به هم بررسی گردید که نتایج بیانگر محافظه کارتر بودن تصمیم گیری تحت شرایط عدد زی است. لازم به ذکر است که نبود قطعیت در پارامترهایی مانند تقاضا، هزینه ها، درآمد و ... سبب می شود دامنه تغییرات پارامترها در مدل فازی انعطاف پذیرتر باشد و در فضای جواب انعطاف پذیر، مناسب ترین ترکیب کشت انتخاب شود؛ در حالی که در شرایط قطعیت، به دلیل قطعی بودن مقادیر پارامترها، اجازه انعطاف پذیری به مقادیر پارامترهای مدل داده نمی شود. در نتیجه فضای جواب محدود شده و موجب افزایش مقدار تابع هدف می شود. همچنین اجرای مدل عدد زی و فازی، افزایش زیادی در پیچیدگی محاسبات و زمان حل ایجاد نمی کند. در صورت در نظر گرفتن مسائل با ابعاد بزرگ تر زمان حل مسأله به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد؛ بنابراین، برای پژوهش های بعدی استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری پیشنهاد می شود.

منابع

1. Adeyemo, J., and Otieno, F. 2010. Differential evolution algorithm for solving multi-objective crop planning model. *Agric. Water Manag.* 97: 6. 848-856.
2. Arab, E., Purasghar Sangachin, F., and Nasrabadi, T. 2013. Investigating the flow of virtual water in Iran's major agricultural products and providing a solution for optimizing net flow of water. *University of Tehran.* 32: 123-150. (In Persian)
3. Azadeh, A., and Kokabi, R. 2016. Z-number DEA: A new possibilistic DEA in the context of Z-numbers. *Adv. Eng. Informatics.* 30: 3. 604-617.
4. Babuye Moghadam, M., and Saedlu, H. 1983. Iranian Agriculture in the 1966-76. *University of Tehran.* 25: 88-103. (In Persian)
5. Bafkar, A., Farhadi Bansouleh, B., and Boroomandnasab, S. 2017. Optimization of water use in agriculture using the results of a crop growth simulation model (WOFOST) (Case study: Mahidasht-Kuzaran, Kermanshah Province). *J. Water Soil Conserv.* 23: 6. 301-315. (In Persian)
6. Dadgar, L., Adibi, H., and Amini, A. 2008. Review of government support policies in the production and consumption of agricultural products and their results in 1335-1352. *University of Tehran.* 61: 534-551. (In Persian)
7. Dasturani, M., Tavili, A., Zehtabian, G., and Seyed-Seragi, H. 2010. Criteria and Indicators of Agriculture in Sustainable Development. *University of Tehran.* 72: 512-529. (In Persian)
8. Eyupoglu, S.Z., Jabbarova, K.I., and Aliyeva, K.R. 2017. The Identification of Job Satisfaction under Z-Information," *Intell. Autom. Soft Comput.*, vol. 8587, no. October, Pp: 1-5.
9. Flavell, R.B. 2017. Innovations continuously enhance crop breeding and demand new strategic planning. *Glob. Food Sec.* 12: 15-21. (In Persian)
10. Gupta, A.P., Harboe, R., and Tabucanon, M.T. 2000. Fuzzy multiple-criteria decision making for crop area planning in Narmada river basin. *Agric. Syst.* 63: 1. 1-18.
11. Hatefi, S.M., Jolai, F., Torabi, S.A., and Tavakkoli-Moghaddam, R. 2014. Reliable Design of an Integrated Forward-Revere Logistics Network under Uncertainty and Facility Disruptions: A Fuzzy Possibilistic Programing Model. *KSCE J. Civ. Eng.* 00: 1. 1-12.
12. Hoseininam, Feizi, and Khakzand. 2015. Designing a Center for Organic Food Production in Tehran Using the Urban Agriculture Approach to Ensure Food Security. *University of Tehran.* 48: 348-362. (In Persian)
13. Hu, Z., Wei, C., Yao, L., Li, C., Zeng, Z., and Asce, A.M. 2015. Integrating Equality and Stability to Resolve Water Allocation Issues with a Multiobjective Bilevel Programming Model. *Water Resour. Plann. Manag.* 142: 7.
14. Itoh, T., Ishii, H., and Nanseki, T. 2003. A model of crop planning under uncertainty in agricultural management. 3: 3. 1-15.
15. Jiménez, M., Arenas, M., Bilbao, A., and Rodríguez, M.V. 2007. Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution. *Eur. J. Oper. Res.* 177: 3. 1599-1609.
16. Kermani, M., Périn Levasseur, Z., Benali, M., Savulescu, L., and Maréchal, F. 2016. A novel MILP approach for simultaneous optimization of water and energy: Application to a Canadian softwood Kraft pulping mill. *Comput. Chem. Eng.* 102: 238-257.
17. Kiani, Z., Montazer, A.A., and Mashal, M. 2012. Investigating the Effect of Integrated Approach and Optimal Distribution of Water in Different Irrigation Network Areas in Improving Agricultural Water Utilization. 12: 86-97. (In Persian)
18. Liu, J., Li, Y.P., Huang, G.H., Zhuang, X.W., and Fu, H.Y. 2017. Assessment of uncertainty effects on crop planning and irrigation water supply using a Monte Carlo simulation based dual-interval stochastic programming method. *J. Clean. Prod.* 149: 945-967.

19. Molinos Senante, M., Hernández Sancho, F., Mocholí Arce, M., and Sala Garrido, R. 2014. A management and optimisation model for water supply planning in water deficit areas. *J. Hydrol.* 515: 139-146.
20. Monajemi, E., and Rashedmahsal, M.T. 1992. The Importance of Agriculture, Water and Plant in Ancient Iran. University of Tehran. 5: 32-51. (In Persian)
21. Naderi, M.J., Pishvae, M.S., and Ali ahmadi, A. 2016. Designing a water supply and sewage collection system under uncertainty. *Iran University of Science and Technology.* 72: 305-322. (In Persian)
22. Niu, G., Li, Y.P., Huang, G.H., Liu, J., and Fan, Y.R. 2016. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. *Agric. Water Manag.* 166: 53-69.
23. Qiu, D., Dong, R., Chen, S., and Li, A. 2017. On an Optimization Method Based on Z-Numbers and the Multi-Objective Evolutionary Algorithm. *Intell. Autom. Soft Comput.* 24: 1.
24. Radulovich, R. 1987. AQUA, a model to evaluate water deficits and excesses in tropical cropping. Part I. Basic assumptions and yield. *Agric. For. Meteorol.* 40: 4. 305-321.
25. Radulovich, R. 1990. AQUA, a model to evaluate water deficits and excesses in tropical cropping. Part II. Basic assumptions and yield. *Agric. For. Meteorol.* 40: 4. 253-261.
26. Sakawa, M., Yano, H., and Yumine, T. 1987. An Interactive Fuzzy Satisficing Method for Multiobjective Linear-Programming Problems and Its Application. *Trans. Syst. MAN, Cybern.* 8714520: 654-661.
27. Salazar, M., Fitz, R., and Pérez, S. 2017. Agricultural Production Planning in a Fuzzy Environment. *Optim. Dyn. with Their Appl.* Pp: 282-293.
28. Santos Pereira, L., Oweis, T., and Zairi, A. 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agric. Water Manag.* no. 57: 175-206.
29. Sarker, R., and Ray, T. 2017. An improved evolutionary algorithm for solving multi-objective crop planning models. *Comput. Electron. Agric.* 68: 2. 191-199.
30. Sharma, D.K., Ghosh, D., and Alade, J.A. 2006. A fuzzy goal programming approach for regional rural development planning. *Appl. Math. Comput.* 176: 1. 141-149.
31. Sharma, D.K., Gaur, A., and Ghosh, D. 2008. Goal Programming Model for Agricultural Land Allocation Problems. *Int. J. Model. Simul.* 28: 1. 43-48.
32. Soroudi, A., and Amraee, T. 2013. Decision making under uncertainty in energy systems: State of the art. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 28: 376-384.
33. Srivastava, P., and Singh, R.M. 2017. Agricultural land allocation for crop planning in a canal command area using fuzzy multiobjective goal programming. *J. Irrig. Drain. Eng.* 143: 6. 1-9.
34. Torabi, S.A., and Hassini, E. 2008. An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy Sets Syst.* 159: 2. 193-214.
35. Toyonaga, T., Itoh, T., and Ishii, H. 2005. A crop planning problem with fuzzy random profit coefficients. *Fuzzy Optim. Decis. Mak.* 4: 1. 51-69.
36. Yousefi, H., Mohammadi, A., Noorollahi, Y., and Sadatinejad, S. 2017. Water footprint evaluation of Tehran's crops and garden crops. *J. Water Soil Conserv.* 24: 6. 67-85. (In Persian)
37. Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. *Inf. Control.* 8: 3. 338-353.
38. Zadeh, L.A. 2011. A Note on Z-numbers. *Inf. Sci. (Ny).* 181: 2923-2932.
39. Zhang, C., Li, M., and Guo, P. 2017. Two-Stage Stochastic Chance-Constrained Fractional Programming Model for Optimal Agricultural Cultivation Scale in an Arid Area. *J. Irrig. Drain. Eng.* 143: 9. 1-13.
40. Zhang, C., Li, M., and Guo, P. 2018. An interval multistage joint-probabilistic chance-constrained programming model with left-hand-side randomness for crop area planning under uncertainty. *J. Clean. Prod.* 167: 1276-1289.

41. Zhang, D., and Guo, P. 2016. Integrated agriculture water management optimization model for water saving potential analysis. *Agric. Water Manag.* 170: 5-19.

42. Zimmermann, H.J. 1978. Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets Syst.* 1: 1. 45-55.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(5), 2019*<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

A multi-objective mathematical modeling for optimization of crop planning problem under Z-number uncertainty

A.A. Abedinpour¹, *A. Jabbarzadeh² and M. Yahyaei³

¹M.Sc. Student, Dept. of Economic-Social Systems Management, Iran University of Science and Technology, ²Assistant Prof., Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, ³Ph.D. Student, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Received: 01.03.2018; Accepted: 08.15.2018

Abstract

Background and Objectives: Agriculture is considered as one of the main sources of wealth in the economy. Because of its significant role in providing food, social welfare and economic growth, developing countries should keep it at the forefront of their economic plans to overcome the economic crisis. Management and planning of agricultural water resources are strategically vital. In this research, both cropping and import aspects of the products have been considered. The aim of this research is to study of land capability and existed resources for agriculture production so that it improves the economic and social conditions of the farmers in country.

Materials and Methods: In this study, the data are collected from documented reports of the ministry of agricultural Jihad and the Iranian National Irrigation and Drainage Committee. A comprehensive mathematical model is presented that it aims to reduce the amount of water consumed, increase the production of strategic products and consider the social factors such as the employment of local laborers. In fact, it is possible to determine how much water can be allocated and which product should be cropped so that both water resource management and profitability is being guaranteed for farmers. Generally speaking, the nature of decision-making in the real world is uncertain and finding a solution without consideration of this issue will make the decision unrealistic. Fuzzy decision approach can be applied to tackle uncertainty in many problems, but this approach has its practical limitations and in some circumstances, it may not be able to model the uncertainty accurately. Accordingly, we use a new concept of uncertainty which is called as the Z-number. To optimize multiple objectives, an interactive approach has been applied. The proposed mathematical model is linear and is solved by Cplex software.

Results: In the country, there are no agricultural cropping patterns based on regional needs, the status of water resources and exports. This matter not only leads to the loss of water resources, but also have a significant impact on farmers' productivity losses and without a specific program, there may be a sharp price fluctuation of agricultural products in markets. Considering the strategic aspects of some agricultural products such as wheat, alfalfa and barley in the presented study, the production rate of these products is higher than other ones. Results showed that the products will not be planted in 22% area of the land and this is because the limitation of resources for planting or the import may be cost-effectiveness rather than planting.

* Corresponding Author; Email: arminj@iust.ac.ir

Conclusion: The results show that in the proposed model, the strategic importance of agricultural products directly affects the amount of production. According to the statistics of the Ministry of Agriculture in 2014, 61.18% of the total agricultural products are covered in this research. The obtained results show that decision making based on the Z-number approach provides a conservatism solution rather than fuzzy and deterministic approaches.

Keywords: Agriculture products, Crop planning, Multi-objective programming, Z-number