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 عدم‌قطعیت عدد زی

احمدعلی عابدین‌پور[۱]، *آرمین جبارزاده[۲] و محسن یحیایی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مدیریت سیستم‌های اقتصادی- اجتماعی، دانشگاه علم و صنعت ایران،
[۲]استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، [۳]دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲٤

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 عدم‌قطعیت 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 عدم‌قطعیت موجود در دنیای واقعی را به‌خوبی ترسیم نماید. بر همین اساس، مفهوم جدیدی از عدم‌قطعیت با عنوان عدد زی مورداستفاده 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

1- CPLEX

یافته‌ها: در کشور الگوی کشت محصولات کشاورزی بر مبنای نیاز منطقه‌ای، وضعیت ذخایر آبی و میزان صادرات وجود ندارد و این مسأله نه‌تنها 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 بیش‌تر است. در ۲۲٪ از حجم زمین موردنظر محصولی کاشت نخواهد شد و این امر به عواملی همچون منابع موردنیاز برای کاشت و همچنین به‌صرفه بودن کاشت نسبت به واردات آن بستگی دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست 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، ٦۱/۱۸٪ سهم کل محصولات کشاورزی را پوشش می‌دهد که این رقم در مقایسه با مقالات قبل بسیار رقم چشم‌گیری است. از طرفی تحلیل نتایج به‌دست آمده بر اساس رویکرد عدد زی بیانگر ارائه یک جواب محافظ‌کارانه نسبت به سایر روش‌های رویکرد فازی و قطعی است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی چندهدفه، برنامه‌ریزی کاشت، عدد زی، 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 (٤). 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[1] مورد بررسی قرار می‌گیرند (۱۲). پرییرا (۲۰۰۲) به بررسی و ارائه مفاهیم مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول با در نظر گرفتن شرایط متفاوت محیطی پرداخت (۲۸). رادولوویچ (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 (۲٤ 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 عین‌حال نبود تشکل‌های قوی تعاونی کشاورزان، صنایع تبدیلی مناسب و شبکه توزیع گسترده، پای دلالی و رانت به این بازار باز شده

1- Crop Planning

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)، نه‌تنها 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، فرآیند تصمیم‌گیری دارای خروجی قابل‌قبول‌تری 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 عدم‌قطعیت می‌باشد (٤٠). با توجه عدم‌قطعیت دنیای واقعی، رویکردهای تصمیم‌گیری که بتواند این نوع عدم‌قطعیت داده‌ها را مدنظر قرار دهد، دارای عملکردی مناسب‌تر می‌باشند. یکی از این رویکردها که در مورد توجه پژوهشگران حوزه برنامه زیری کاشت محصول قرارگرفته است، برنامه‌ریزی ریاضی فازی می‌باشد (١٤–١٦). اولین بار مجموعه‌های فازی توسط زاده (١٩٦٥) معرفی شد (۳۷). ایتو و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی بررسی مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول در شرایط عدم‌قطعیت سود هر واحد محصول و با در نظر گرفتن ملاحظاتی مانند محدودیت زمین قابل‌کشت و زمان کشت پرداختند (١٤). 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 سنانته و همکاران (٢٠١٤) مدل ریاضی با هدف حداکثرسازی سود و با در نظر گرفتن ملاحظات واقعی‌تری مانند محدودیت منابع آبی در دسترس و تقاضای بازار برای محصولات قابل‌کشت را در شرایط قطعی در نظر گرفتند و به بررسی مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول در حوزه رودخانه جوکار- شرق اسپانیا[1] پرداختند (۱۹). کرمانی و همکاران (٢٠١٦) 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 (١٦). ژانگ و گوو (٢٠١٦) مدل ریاضی را با در نظر گرفتن شرایط عدم‌قطعیت محدودیت احتمالی ارائه نمودند (٤١). ایشان مطالعه موردی خود را بر روی رودخانه حیهه[2] چین انجام دادند.

1- Jucar River
2- Heihe River Basin in Northwest China

اگرچه در مقالات بیان‌شده 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 به‌عمل آمده هوو و همکاران (۲۰۱۵) دارای محدودیت‌هایی مانند مصرف منابع آبی در دسترس و ارضای تقاضا بوده که به‌صورت قطعی و با روش مجموع وزنی[1] حل شده است و پژوهش‌های خود را در رودخانه گوجیانگ[2] جنوب‌غربی 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 به‌صورت قطعی به همراه توجه به تنوع محصول با روش الگوریتم تعاملی چندهدفه (MDEA)[3] 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 عدم‌اطمینان در مدل به‌صورت احتمالی، با روش پیشنهادی (برنامه‌ریزی کسری محدودیت شانس احتمالی دومرحله‌ای)[4] مسأله خود را حل کرده و حوزه مورد بررسی را روی حوزه لینسز- گانسو- شمال‌غربی چین[5] انجام داده‌اند (۳۹).

بسیاری از مسائل دنیای واقعی با عدم‌اطمینان همراه است و یافتن جواب بهینه و درست بدون توجه به این موضوع موجب تصمیم‌گیری غیرواقعی 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 به‌دلیل نبود اطلاعات یا اطلاعات مبهم. برنامه‌ریزی فازی اولین بار توسط زیمرمن (۱۹۷۸) توسعه یافت (۴۲). ژنگ و همکاران (۲۰۱۸) با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت 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 ارائه‌شده توسط ایشان در استان گانسو[6] 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 قابل‌کشت 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 ارائه‌شده را برای مطالعه و برنامه‌ریزی حوزه رودخانه نارمادا- هند[7] به‌کار بردند. اگرچه در دنیای واقعی اکثر پارامترهای مسأله دارای عدم‌قطعیت می‌باشند، اما

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

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 عدم‌قطعیت موجود در دنیای واقعی را به‌خوبی ترسیم نماید. یکی از نارسایی‌های موجود در رویکرد فازی آن است که این رویکرد نمی‌تواند علاوه بر عدم‌قطعیت در مقدار یک پارامتر، قابلیت اطمینان این مقدار غیرقطعی را نیز مدنظر قرار دهد. از جمله مفاهیمی که شرایط بیان‌شده را می‌تواند به‌خوبی مورد ملاحظه قرار دهد عدد زی[1] می‌باشد. این مفهوم توسط زاده (۲۰۱۱) به‌عنوان یک کلاس جدید از مفهوم عدم‌قطعیت معرفی شد (۳۸). اعداد زی به‌صورت 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 به‌عنوان یک تابع چگالی احتمال یا یک مجموعه فازی بیان شود. در اینجا $Z = \left\{x \middle| x \in A \text{ , با درجه اطمینان } = B\right\}$ 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 حالی‌که 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 عدم‌قطعیت پرداختند (شکل ۱) و همان‌طور که ملاحظه می‌شود عدد زی از سطح بالاتر توانمندی در مدل‌سازی عدم‌قطعیت‌ها نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است (۳۲).

به‌صورت مرسوم، مجموعه فازی طبیعت امکانی را موردنظر قرار می‌داد و خود مجموعه امکانی را قطعی در نظر می‌گرفت؛ اما در زمانی که اطلاعات کافی در اختیار نباشد و اطلاعات به‌صورت تصادفی است، امکان وقوع آن‌هم 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 عدم‌قطعیت 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 هم‌چون اقتصاد در مقاله یوپوگلو و همکاران، تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری و ... به‌کار گرفته شد (۳ و ۸).

با مطرح‌شدن این مفهوم، برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط عدم‌اطمینان بیش‌تر از گذشته به واقعیت نزدیک شد. به‌عنوان 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 می باشد. در زمانی‌که این درجه اطمینان بالاتر باشد، می‌توان به‌جای عبارت "معمولا" از عبارت "تقریباً قطعی" یا "کاملاً قطعی" استفاده نمود.

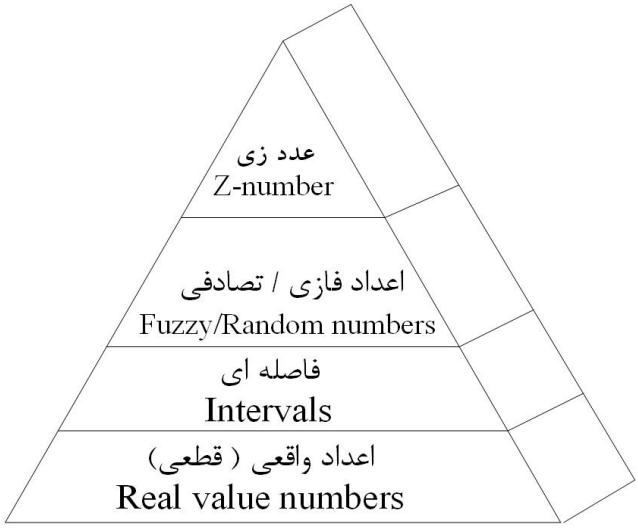
نکته قابل‌تأمل آن است که اگرچه این رویکرد مدل‌سازی عدم‌قطعیت در زمینه تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی دارای اهمیت کاربردی می‌باشد، اما تاکنون از این مفهوم برای برنامه‌ریزی کاشت استفاده نشده است.

1- Z-number

در پژوهش پیشرو، ملاحظات متعددی در مسأله مدنظر قرار گرفته تا بتواند مدل جامعی را برای برنامه‌ریزی کشت ارائه دهد. همچنین، در این پژوهش، عدم‌قطعیت 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 عدم‌قطعیت مبتنی بر عدد زی در نظر گرفته شده است تا منجر به واقعی شدن مسأله برنامه‌ریزی کاشت محصول شود.

این مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است:

در بخش اول به شرح مسأله پرداخته شد. بخش دوم و سوم، فرمول‌سازی مسأله و روش حل ارائه‌شده و نحوه استفاده از آن بیان می‌شود. بخش چهارم و پنجم به‌ترتیب، نتایج و بحث و نتیجه‌گیری کلی ارائه خواهد شد.



شکل ۱- سیر مدل‌سازی رویکردهای مواجه و مدل‌سازی عدم‌قطعیت.

Figure 1. Modeling of facing approaches and uncertainty.

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 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 ین‌رو محدودیت استفاده از منابع آبی در این مسأله

مورد ملاحظه قرار گرفته است. اهمیت محصولات استراتژیک مانند گندم و ... نیز در دستور کار قرار داده شده است (٦).

فرموله‌سازی مسأله: مسأله مورد بررسی ما شامل پنج تابع هدف و چهار دسته محدودیت به‌ترتیب زیر است:

تابع هدف اول- حداقل‌سازی مصرف منابع آب: با توجه به اهمیت مصرف منابع آبی، این تابع هدف سعی می‌کند تا مصرف منابع آبی را بهینه سازد که به‌صورت رابطه ۱ است:

$$min\, z1 = \sum_{i=1}^{n} \tilde{w}_i A_i \qquad (۱)$$

که در آن، پارامتر $\tilde{w}_i$ حجم آب مورد نیاز برای محصول i را نشان می‌دهد و پارامتری غیرقطعی است[1]، A_i متغیر تصمیم مسأله کاشت بوده و عبارت است از مساحت تخصیص‌یافته محصول iام برای کشت و n نشان‌دهنده محصولات مورد ملاحظه برای انتخاب کشت می‌باشد.

تابع هدف دوم- حداکثر سازی سود اقتصادی: در مسأله کاشت، منافع مالی نیز از جمله ملاحظات مهم برنامه‌ریزان می‌باشد و این امر به دو طریق مدنظر قرار می‌گیرد؛ ابتدا با فروش محصولات تولیدی و سپس فروش محصولات وارداتی است. البته با توجه به این واقعیت که محصول وارداتی مشمول هزینه‌هایی مانند گمرک و ... می‌باشند، سود کم‌تری نسبت به تولید داخلی برای آن‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. این هدف در رابطه ۲ نشان داده می‌شود؛

$$max\, z2 = \sum_{i=1}^{n} A_i \left(\left((\tilde{p}_i - \widetilde{exp}_i)\tilde{Y}_i \right) - (\tilde{w}_i C_w) \right) + \sum_{i=1}^{n} I_i IC_i \qquad (۲)$$

که در آن، $\tilde{p}_i$ قیمت تمام‌شده محصول iام توسط بازار (ریال) و $\widetilde{exp}_i$ هزینه تولید برای محصول iام (ریال)، $\tilde{Y}_i$ نرخ بارآوری محصول iام (کیلوگرم در هکتار) و C_w هزینه تأمین آب (ریال) می‌باشد که در مجموع این قسمت نشان‌دهنده سود فروش محصول تولیدکننده محلی است، IC_i سود فروش محصول وارداتی iام (ریال) و متغیر تصمیم I_i میزان واردات محصول iام (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) به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$max\, z3 = \sum_{i=1}^{n} \tilde{Y}_i\, A_i \qquad (۳)$$

تابع هدف چهارم- حداکثر سازی به‌کارگیری نیروی کار: دولت به دنبال افزایش میزان اشتغال در سطح جامعه است و این امر به‌عنوان هدف اجتماعی او محسوب شود که به‌صورت رابطه ٤ تعریف‌شده است:

$$max\, z4 = \sum_{i=1}^{n} \tilde{L}_i A_i \qquad (٤)$$

۱- در این مقاله تمام پارامترهای غیرقطعی به همراه (~) نمایش داده می‌شوند.

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 به‌صورت مستقیم و چه به‌صورت غیرمستقیم داشته باشد. محصولاتی هم‌چون گندم، جو و پنبه در کشور ایران به‌عنوان 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 به‌صورت زیر نمایش داده شده است:

$$max\, z5 = \sum_{i=1}^{n} R_i A_i \qquad (۵)$$

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

محدودیت اول- محدودیت حداکثر فضای قابل‌کشت: مقدار مساحت ناحیه قابل‌کاشت موردنظر در این مسأله محدود است و این محدودیت به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$\sum_{i=1}^{n} A_i \le A \qquad (٦)$$

که در آن، A حداکثر فضای قابل‌کشت است.

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

$$\sum_{i=1}^{n} \widetilde{w}_i A_i \le W \qquad (۷)$$

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:

$$\tilde{Y}_i A_i + I_i = \widetilde{D}_i \qquad \forall i \qquad (۸)$$

که در آن، $\widetilde{D}_i$ تقاضا برای محصول iام 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 به‌صورت رابطه ۹ تعریف شده است:

$$I_i \le IL_i \qquad \forall i \qquad (۹)$$

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

$$A_i \geq 0 \ \forall i \qquad (۱۰)$$

$$I_i \geq 0 \ \ \forall i \qquad (۱۱)$$

روش حل: مسأله ارائه‌شده یک مسأله چندهدفه با عدم‌قطعیت 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. به‌عنوان مثال، در مورد میزان مصرف محصول گندم (X)، می‌توان گفت که حدود ۱۰۰ واحد است (A). به‌عبارت‌دیگر:

میزان مصرف گندم حدود ۱۰۰ واحد است (و یا به‌عبارت 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 به‌عنوان محدودکننده فازی برای شاخص احتمال $\tilde{A}$ است. در ادامه مثال قبل می‌توان گفت که احتمال حدود ۱۰۰ واحد مصرف تقریباً قطعی است $(\tilde{B})$ به‌عبارت دیگر: احتمال $\tilde{A}$، $\tilde{B}$ است (و یا به‌عبارت دقیق‌تر $P(\tilde{A}) is \ \tilde{B}$).

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:

$$\lambda Z = \lambda(\tilde{A}, \tilde{B}) = (\lambda\tilde{A}, \lambda\tilde{B}) \qquad (۱۲)$$

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:

$$\alpha = \frac{\int x\mu_{\tilde{B}}(x)dx}{\int \mu_{\tilde{B}}(x)dx} \qquad (۱۳)$$

که در آن، α نشان‌دهنده عدد ثابت به وجود آمده از مجموعه دوم فازی است؛ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ و $\mu_{\tilde{B}}(x)$ به‌ترتیب 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 ۱٤ استفاده می‌شود:

$$\mu_{\tilde{Z}}(x) = \mu_{\tilde{A}}\left(\frac{x}{\sqrt{\alpha}}\right) \qquad (۱٤)$$

موارد مطرح‌شده فوق را با یک مثال عددی پی می‌گیریم. ابتدا با یک مثال عددی مراحل بیان‌شده را اعمال می‌کنیم.

جدول ۱- اطلاعات محصول.

Table 1. Product Information.

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

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

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

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

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

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

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

$$\alpha_{\tilde{w}_{\text{گندم}}} = \frac{0.5 + 0.7 + 0.9}{3} = 0.7 \qquad (۱۵)$$

که در آن، با به‌دست آوردن α مجموعه فازی به‌صورت $Z^{\alpha}_{\tilde{w}_{\text{گندم}}} = (2750,2800,2830,2860; 0.7)$ است که یک مجموعه فازی نامنظم است و باید آن را تبدیل به منظم کرد:

$$\begin{aligned} & Z_{\tilde{w}_{\text{مدنگ}}} \\ &= \left(202\sqrt{0.7}, 232\sqrt{0.7}, 242\sqrt{0.7}, 262\sqrt{0.7}; 1\right) \\ &= (167.66,192.56,200.86,217.46; 1) \end{aligned} \qquad (۱۶)$$

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

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 مواجه با عدم‌قطعیت فازی استفاده شده است که توسط هاتفی و همکاران (۲۰۱٤) تعمیم‌یافته است (۱۱و ۱۵).

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

$$\begin{aligned} & min\, EV(\tilde{C})x \\ & s.t. \\ & x \in \left\{x \in R^n \middle| \tilde{A}x \geq_{\alpha} \tilde{B}, x > 0\right\} \end{aligned} \qquad (۱۷)$$

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:

$$min\, z1 = \sum_{i=1}^{n} EV(\tilde{w}_i)A_i = \sum_{i=1}^{n} A_i \left(\frac{{W_i}^1 + {W_i}^2 + {W_i}^3 + {W_i}^4}{4}\right) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{n=1}^{4} \frac{A_i {W_i}^n}{4} \qquad (۱۸)$$

$$\tilde{Y}_i A_i + I_i = \tilde{D}_i \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} I_i + \tilde{Y}_i A_i \geq \tilde{D}_i \\ I_i + \tilde{Y}_i A_i \leq \tilde{D}_i \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \begin{cases} I_i + \left(\alpha \sum_{n=1}^{2} \frac{{Y_i}^n}{2} + (1-\alpha) \sum_{n=3}^{4} \frac{{Y_i}^n}{2}\right) A_i \geq \left((1-\alpha) \sum_{n=1}^{2} \frac{{D_i}^n}{2} + \alpha \sum_{n=3}^{4} \frac{{D_i}^n}{2}\right); \forall i \\ I_i + \left((1-\alpha) \sum_{n=1}^{2} \frac{{Y_i}^n}{2} + \alpha \sum_{n=3}^{4} \frac{{Y_i}^n}{2}\right) A_i \leq \left(\alpha \sum_{n=1}^{2} \frac{{D_i}^n}{2} + (1-\alpha) \sum_{n=3}^{4} \frac{{D_i}^n}{2}\right); \forall i \end{cases} \qquad (۱۹)$$

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

حل مسأله چندهدفه با رویکرد تعاملی TH[1]: تاکنون روش‌های متعددی توسط پژوهشگران برای حل مسائل چندهدفه توسعه داده شده است (۳٤). از میان آن‌ها، روش برنامه‌ریزی فازی به‌علت داشتن توانایی اندازه‌گیری سطح قابلیت اطمینان هر تابع هدف به‌صورت مستقیم از اهمیت بالایی برخوردار است. این رویکرد ابتدا توسط زیمرمن (۱۹۷۸) با نام روش min-max بیان شد (٤۲). به‌علت کارایی پایین این روش، ساکاوا و همکاران (۱۹۸۷) برای بهبود این روش رویکرد فازی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه[2] ارائه کرد (۲٦). 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 (۳٤).

گام‌های این رویکرد به‌صورت زیر می‌باشد:

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

گام دوم- تبدیل توابع هدف نامنظم به یک تابع ثابت[3] 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 $\left(\alpha - PIS\right)$ و ایدئال منفی $\left(\alpha - NIS\right)$ برای هر تابع هدف.

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

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

$$\mu_1(x)\begin{cases} 1 & Z_1 < Z_1^{\alpha-PIS} \\ \dfrac{Z_1^{\alpha-NIS} - Z_1}{Z_1^{\alpha-NIS} - Z_1^{\alpha-PIS}} & Z_1^{\alpha-PIS} \le Z_1 \le Z_1^{\alpha-NIS} \\ 0 & Z_1 \le Z_1^{\alpha-NIS} \end{cases} \quad (۲۰)$$

به همین ترتیب برای توابع هدف دیگر در رابطه ۲۰ خواهیم داشت، بدین‌صورت 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 قابل‌نمایش خواهد بود.

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

$$max\ \lambda(x) = \gamma\lambda_0 + (1-\gamma)\sum_h \theta_h \mu_h(x) \quad (۲۱)$$

s.t.

$$\lambda_0 \le \mu_h(x) \qquad h = 1.2. \ldots 5$$

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

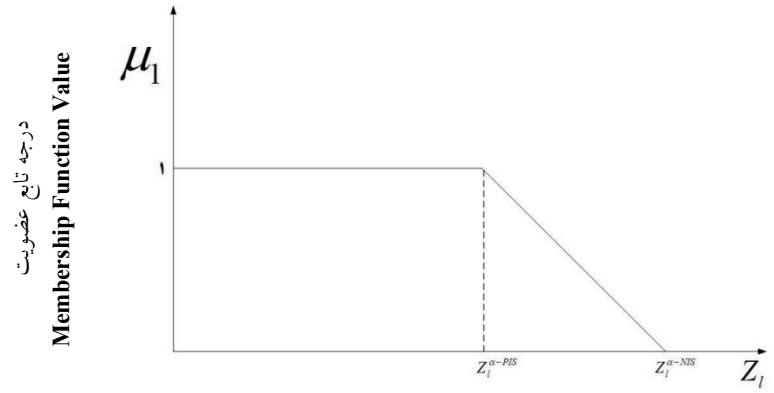
که در آن، θ_h و γ به‌ترتیب نشان‌دهنده اهمیت تابع هدف h–ام و ضریب مؤثر هستند. همچنین $\lambda_0 = min_h\{\mu_h(x)\}$ است که مقداری بین حداقل مقدار اپراتور و مجموع وزنی اپراتور بر اساس مقدار γ می‌باشد.

گام هفتم- تعیین مقدار ضریب مؤثر γ و درجه اهمیت تابع هدف θ_h و حل مدل تک‌هدفه نهایی.

رویکرد حل: خلاصه‌ای 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 به‌ترتیب با (*) و (-) نمایش داده شده است، ابتدا توابع هدف را به‌طور جداگانه حل و بهترین جواب شدنی برای همان تابع هدف را ثبت خواهیم کرد. سپس مقادیر به‌دست آمده از توابع هدف را در اهداف دیگر گذاشته و مقادیر را در جدول موردنظر ثبت می‌کنیم، بدترین جواب برای هر تابع هدف را به‌عنوان ایدئال منفی انتخاب می‌کنیم.

با توجه به جدول ٤، رابطه ۲۰ را به‌دست آورده و در مدل (۲۱) جایگزین می‌شود. حال با تعیین مقادیری برای $\boldsymbol{\theta_h}$ و $\boldsymbol{\gamma}$ الگوریتم را ادامه می‌دهیم مقدار $\boldsymbol{\theta_h}$ مطابق با جدول ۳ و همچنین $\boldsymbol{\gamma = 0.4}$ تعیین می‌شود.



شکل ۲- درجه مطلوبیت تابع هدف اول.

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

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

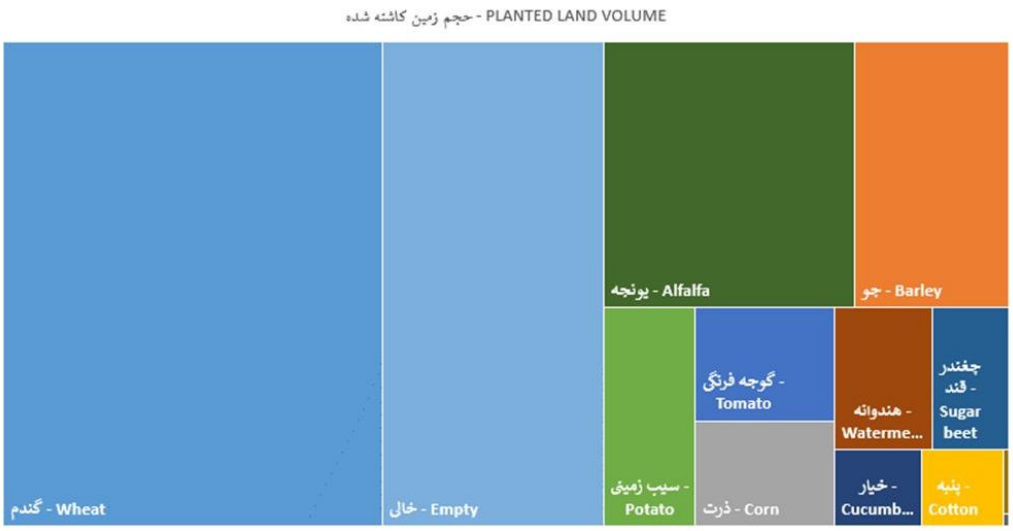
مسأله موردنظر این پژوهش، برای دوره یک‌ساله برنامه‌ریزی شده است. محصولاتی که مورد بررسی

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 به‌صورت تک‌هدفه حل کرده و بعد با استفاده از روش TH با در نظرگیری تمام اهداف مدل حل شد و نتایج به‌دست آمده به‌صورت مساحت تخصیص داده‌شده برای هر محصول و همچنین میزان واردات از هر محصول به‌ترتیب در جدول‌های ۵ و ٦ ارائه‌شده است.

همان‌طور که در ستون آخر جدول ۵ ملاحظه می‌شود، با حل مدل برای تمام توابع هدف مساحت‌های نهایی تخصیص داده‌شده به هر محصول به‌دست آمده است که در شکل ۳ نمایشی از مساحت‌های تخصیص داده‌شده به‌علاوه مساحت زمینی که از آن استفاده‌نشده ارائه شده است.

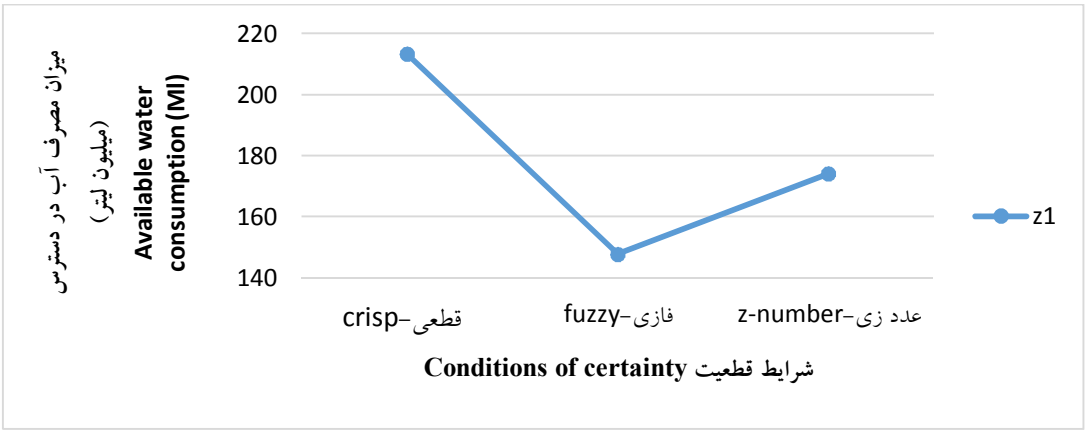
هدف اصلی این مسأله واردکردن عدم‌قطعیت از نوع عدد زی در مسائل برنامه‌ریزی کشت بوده است، از این‌رو مسأله برای حالات عدم‌قطعیت فازی و در شرایط قطعیت کامل حل و نتایج به‌دست آمده در جدول ۷ و شکل ٤ ارائه شده است.



شکل ۳- مساحت زمین استفاده‌شده برای کاشت محصول.

Figure 3. The used area for planting.

همان‌طور که در شکل ٤ به‌عنوان نماینده دیگر توابع هدف مشاهده کردیم، پاسخی که در عدم‌قطعیت عدد زی به‌دست آمده بین پاسخ‌هایی است که شرایط یا به‌صورت قطعیت کامل است و یا به‌صورت فازی. از این‌رو جوابی که در شرایط عدم‌قطعیت عدد زی از مسأله دریافت کردیم محافظکارانه‌تر از دو حالت دیگر که در ادبیات مورد بررسی قرار گرفت می‌باشد.



شکل ٤- نمایش حل مدل تحت شرایط قطعیت، فازی و عدد زی.

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

شکل ٥- رویکرد حل مسأله.

Figure 5. The proposed aproach to solve the problem.

جدول ۳- وزن توابع هدف.

Table 3. Weight of target functions.

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

جدول ٤- 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) First objective function (Thousand liter)	تابع هدف دوم (میلیون ریال) Second objective function (Million Rials)	تابع هدف سوم (هزار تن) Third objective function (Thousand tons)	تابع هدف چهارم (هزار نفر ساعت در هر هکتار) Fourth objective function (Thousand one of hours per ha)	تابع هدف پنجم (میلیون تن) Fifth objective function (Million tons)
تابع هدف اول (هزار لیتر) First objective function (Thousand liter)	107512*	1524834-	473292 -	9302-	7356-
تابع هدف دوم (میلیون ریال) Second objective function (million Rials)	249993-	4704123*	108369	19780	15968
تابع هدف سوم (هزار تن) Third objective function (Thousand tons)	249990	4601970	1098886*	20133	15957
تابع هدف چهارم (هزار نفر ساعت در هر هکتار) Fourth objective function (Thousand one of hours per ha)	249989	3158412	865246	22242*	15589
تابع هدف پنجم (میلیون تن) Fifth objective function (million tons)	249990	3696074	1076169	20840	16951*

"*" 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.

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

جدول ٦- حجم واردات با توجه به توابع هدف‌های مختلف.

Table 6. Import volume according to different objective functions.

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

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

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

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

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی کاشت برای محصولات کشاورزی در شرایط عدم‌اطمینان ارائه شد. عدم‌قطعیت موجود در مدل به‌صورت عدد زی بوده است. در ادامه برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی، با استفاده از روش رتبه‌بندی فازی، به قطعی تبدیل شد. برای نشان دادن اعتبار و عملکرد مدل پیشنهادی، مدل با استفاده از داده‌هایی که از وزارت کشاورزی و همچنین کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران جمع‌آوری شد، با در نظر گرفتن داده‌های فازی و عدد زی و به‌ازای مقادیر مختلف (α) توسط نرم‌افزار (سیپلکس) حل شد. همچنین با به‌کارگیری رویکردی تعاملی، مسأله با اهداف حداقل‌سازی مصرف منابع آب، حداکثرسازی سود اقتصادی، حداکثرسازی تولید محصولات، حداکثرسازی به‌کارگیری نیروی کار و حداکثرسازی تولید محصولات استراتژیک مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصله نشان‌دهنده آن است که محصولاتی مانند گندم، یونجه و جو دارای بیش‌ترین مطلوبیت کشت می‌باشند.

سپس برای مقایسه عدد زی با شرایط قطعیت کامل و همچنین فازی جواب نهایی نسبت به هم بررسی گردید که نتایج بیانگر محافظه‌کارتر بودن تصمیم‌گیری تحت شرایط عدد زی است. لازم به ذکر است که نبود قطعیت در پارامترهایی مانند تقاضا، هزینه‌ها، درآمد و ... سبب می‌شود دامنه تغییرات پارامترها در مدل فازی انعطاف‌پذیرتر باشد و در فضای جواب انعطاف‌پذیر، مناسب‌ترین ترکیب کشت انتخاب شود؛ در حالی‌که در شرایط قطعیت، به‌دلیل قطعی بودن مقادیر پارامترها، اجازه انعطاف‌پذیری به مقادیر پارامترهای مدل داده نمی‌شود. در نتیجه فضای جواب محدودشده و موجب افزایش مقدار تابع هدف می‌شود. همچنین اجرای مدل عدد زی و فازی، افزایش زیادی در پیچیدگی محاسبات و زمان حل ایجاد نمی‌کند. در صورت در نظر گرفتن مسائل با ابعاد بزرگ‌تر زمان حل مسأله به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد؛ بنابراین، برای پژوهش‌های بعدی استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری پیشنهاد می‌شود.

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., Pishvaee, 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 LandAllocation 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. Abedinpour[1], *A. Jabbarzadeh[2] and M. Yahyaei[3]

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