نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد 29، شماره 3، پاییز 1394، ص. 307-294

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 29, No. 3, Fall 2015, p. 294-307

تعیین ترکیب مناسب کشت محصولات زراعی در مقیاس یک مزرعه با استفاده از الگوی برنامه ریزی آرمانی فازی

علی علیزاده زوارم[1]- زهرا ناجی عظیمی[2*]

تاریخ دریافت:1394/3/17
تاریخ پذیرش:1394/6/7

چکیده

از موضوعات مهم در حوزه برنامه‌ریزی کشاورزی، دستیابی به الگو یا ترکیب مناسبی از محصولات مدنظر جهت کشت می باشد. در این راستا، با توجه به محدودیت های موجود، میزان منابع در دسترس و مدنظر قرار گرفتن اهداف یا آرمان‌های مختلف، برنامه ریزی و تصمیم گیری به منظور استفاده بهینه از منابع و عوامل تولید با پیچیدگی‌های خاصی همراه می‌باشد. در نتیجه بکارگیری مدل‌های ریاضی تا حد زیادی می‌تواند به برنامه‌ریزی در این حوزه کمک نماید. هدف این مطالعه، تعیین الگوهای مناسب کشت محصولات زراعی یک مزرعه کشاورزی در استان خراسان شمالی می‌باشد که به این منظوراز مدل برنامه ریزی آرمانی فازی و حل آن بر اساس سناریوهای مختلف بهره گرفته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از فرایند ارائه شده، با توجه به محدودیت ها و آرمان های مسأله مربوطه، چهار الگوی کشت بر مبنای هشت سناریوی مطرح شده برای محصولات زراعی مزرعه مورد مطالعه پیشنهاد گردیدند. الگوهای کشت پیشنهادی به گونه‌ای ارائه شده‌اند که زمینه را برای تصمیم‌گیری بهتر پیرامون ترکیب مناسب کشت محصولات زراعی در شرایط مختلف بر اساس آرمان های مدنظر توسط تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌آورند. در نهایت، الگوهای ارائه شده با توجه به بیشترین میزان دستیابی به سطح مطلوب تمامی آرمان‌ها اولویت‌بندی شدند که بر این اساس، تصمیم گیرندگان می‌توانند با توجه به اولویت مدنظر خود پیرامون هر یک از آرمان‌ها، الگوی مناسب کشت محصولات زراعی را انتخاب نمایند.

واژه های کلیدی: الگوی کشت، برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی کشاورزی، تئوری فازی

مقدمه

مباحث مختلف مربوط به برنامه ریزی در حوزه کشاورزی، همواره از اهمیت خاصی برخوردار می باشند. از موضوعات مهم در این زمینه، می توان به نحوه تخصیص عوامل تولید به منظور کشت محصولات زراعی اشاره نمود. این مسأله زمانی اهمیت زیادی پیدا می‌کند که کشت چندین محصول مد نظر قرار گیرد و از طرفی محدودیت‌های متعددی نیز بر آن حاکم باشند. برنامه‌ریزی توسط تصمیم‌گیرندگان پیرامون تعیین الگوی کشت در چنین وضعیتی تعیین الگو یا ترکیب مناسب کشت و تصمیم‌گیری منطقی به منظور استفاده بهینه از منابع با پیچیدگی های خاصی همراه می‌باشد. از یک سو به محدودیت های موجود در زمینه منابع و عوامل تولید مورد استفاده وابسته می‌باشد و از سویی دیگر، گاهی اوقات دستیابی به چندین هدف یا آرمان مورد توجه تصمیم گیرندگان قرار می گیرد که ممکن است این آرمان ها با یکدیگر ناسازگار نیز باشند. در این شرایط، تصمیم‌گیری منطقی زمانی محقق می‌گردد که هم محدودیت‌های موجود مورد توجه قرار گیرند و هم تا حد ممکن دستیابی به سطح مطلوب آرمان ها امکان پذیر گردد. در چنین حالتی، تصمیم گیرندگان می‌توانند استفاده بهینه از منابع و عوامل تولید داشته باشند.

استان خراسان شمالی یکی از قطب‌های بسیار مهم تولید محصولات کشاورزی در کشور می باشد و شهرستان شیروان نیز به عنوان دومین شهرستان بزرگ این استان، از لحاظ فعالیت های کشاورزی از وضعیت مناسبی برخوردار است. هدف مطالعه حاضر، تعیین الگوهای مناسب کشت محصولات زراعی یک مزرعه کشاورزی واقع در این شهرستان می باشد. تصمیم گیرندگان این مزرعه، قصد دارند ترکیبی از چهار محصول زراعی را در این مزرعه کشت کنند. با توجه به محدودیت های موجود در زمینه منابع و عوامل تولید و

1 و 2- دانشجوی دکتری مدیریت (تحقیق در عملیات) و استادیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: znajiazimi@um.ac.ir)

همچنین مدنظر قرار گرفتن اهداف یا آرمان های مختلف، تصمیم گیری در این زمینه پیچیده شده است. در این مطالعه سعی شده است با الهام گیری از نکات قوت مطالعات مشابه، زمینه مناسبی برای مدل سازی و حل مسأله تعریف شده با استفاده از برنامه ریزی آرمانی فازی به منظور تعیین الگوی مناسب کشت فراهم گردد.

در دهه‌های اخیر، مدل ها و تکنیک های کمی متعددی در حوزه برنامه ریزی کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته اند که برنامه ریزی خطی[1]، یکی از پر کاربردترین آنها بوده است. مدل های برنامه ریزی خطی با اهداف مختلفی نظیر بیشینه کردن تولید محصول، تخصیص زمین زیر کشت یا کمینه کردن هزینه های تولید مورد استفاده قرار گرفته اند (17). مدل برنامه ریزی خطی به صورت یک مدل بهینه‌سازی تک هدفه بیان می شود و این در حالی است که طبیعت بسیاری از مسائل مطرح شده در زمینه های مختلف و به خصوص در حوزه برنامه‌ریزی کشاورزی از نوع چند هدفه مانند بیشینه کردن سود، کمینه کردن مخارج، کمینه کردن مصرف آب مورد نیاز و غیره می‌باشند. از طرفی، این اهداف ممکن است با یکدیگر در تضاد باشند. بنابراین، روش‌های سنتی برنامه‌ریزی مانند برنامه‌ریزی خطی تک هدفه، قابلیت بهینه سازی مسائل باچندین هدف به طور همزمان را نخواهند داشت و در چنین وضعیتی، این روش‌ها نمی توانند جوابگوی خواسته‌های تصمیم گیرندگان باشند (18).

توابع چند هدفه در مدل های برنامه ریزی ریاضی، اولین بار توسط کان و تاکر (13) بر مبنای مفهوم بهینه‌سازی برداری مطرح گردید و به دنبال آن، تحقیقات بسیاری در رابطه با مدل های تصمیم گیری با اهداف چندگانه انجام گرفت (20). در این راستا، چارنز و کوپر (6) به ارائه مدلی با عنوان برنامه ریزی آرمانی[2] پرداختند. برنامه ریزی آرمانی، یکی از تکنیک های برجسته برای حل مسائل تصمیم گیری با چندین هدف می باشد که توانایی بالای کاربرد آن در مسائل برنامه ریزی کشاورزی نیز مورد بررسی قرار گرفته و تأیید گردیده است (15). در این مدل، برای هر یک از توابع هدف، یک مقدار آرمانی تعیین می گردد و با توجه به اولویت اهداف مختلف، حداقل‌سازی انحرافات مجاز اهداف از سطوح آرمانی مورد توجه قرار می گیرد. به عبارتی، ایده اصلی برنامه ریزی آرمانی، یافتن جواب‌هایی است که چندین هدف تعریف شده را طوری برآورده نماید که انحراف از سطح مطلوب آرمان ها کمینه گردد. در مدل برنامه ریزی آرمانی متعارف، پارامترهای مسأله باید به طور دقیق تعریف شوند. این در حالی است که کشاورزان به دلیل ریسک بالا و وجود شرایط عدم اطمینان به مسائل محیطی، همواره نمی‌توانند اطلاعاتی قطعی و دقیقی از پارامترهای مسأله ارائه نمایند. بنابراین، انتساب سطوح مطلوب قطعی و صریح به اهداف یا آرمان های مسأله در این حالت، سبب ایجاد تصمیماتی نامطلوب می‌گردد (5). برای فائق آمدن بر این مشکل، از مفهوم مجموعه های فازی[3] که توسط زاده (23) مطرح شده است، بهره گرفته شده است و به دنبال آن، مدل برنامه ریزی آرمانی فازی[4] نیز مورد توجه بسیاری از محققان از جمله ناراسمیان (14) قرار گرفت. این مدل از ترکیب مدل برنامه ریزی آرمانی با تئوری مجموعه های فازی[5] که توسط زاده (23) ارائه گردیده به وجود آمده است. محققین متعددی نظیر حنان (9)، ایگنیزیو (10)، روبین (16)، تیواری و همکاران (19) و چن (7) نیز مدل برنامه ریزی آرمانی فازی را توسعه بخشیدند و با نمایان شدن قابلیت های این مدل، از آن در حوزه های مختلفی بهره گرفته شد. از آنجایی که در مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی، امکان دخالت دادن داده‌های غیردقیق در پارامترهای مدل برای تصمیم گیرندگان فراهم می گردد، بنابراین، به منظور استفاده در مسائل بهینه سازی الگوی کشت محصولات زراعی، این مدل نسبت به مدل های کلاسیک برنامه‌ریزی آرمانی، کاربردی تر و انعطاف پذیرتر بوده و با اطمینان بیشتری می توان به نتایج حاصل از آن اتکا نمود (5).

در زمینه استفاده از برنامه ریزی آرمانی در حوزه کشاورزی مطالعات متعددی انجام گرفته است. ویلر و راسل (21) اولین کسانی می باشند که از برنامه‌ریزی آرمانی در حوزه برنامه ریزی کشاورزی و با هدف تخصیص زمین برای تولید بهینه چندین محصول زراعی استفاده نموده اند. رومرو (15) نیز بر اساس بررسی های خود، توانایی بالای کاربرد این روش را در حوزه برنامه ریزی کشاورزی مورد تأیید قرار داده است.گومز و ریسوگ (8)، از مدل برنامه ریزی آرمانی جهت برآورد تابع مطلوبیت جانشین با چندین معیار متضاد در فرایند تصمیم‌گیری کشاورزان و با هدف تحلیل توابع تقاضای آب در کشور اسپانیا استفاده نمودند.

در زمینه بکارگیری مدل برنامه ریزی آرمانی فازی در برنامه ریزی کشاورزی نیز می توان به پژوهش های متعددی اشاره نمود. نتایج مطالعات ایتوه و همکاران (11) نشان می‌دهد بکارگیری مدل برنامه ریزی فازی در شرایط عدم قطعیت در حوزه کشاورزی، بسیاری از نقاط ضعف مدل های برنامه ریزی خطی کلاسیک را مرتفع نموده و جواب های سازگارتری با شرایط دنیای واقعی ارائه می نماید. بیسواس و پال (5) از مدلبرنامه‌ریزی آرمانی فازی به منظور تعیین الگوی بهینه کشت و برنامه‌ریزی استفاده از زمین در کشاورزی بهره جستند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بر اساس این مدل برنامه‌ریزی ریاضی، تصمیم گیرنده می‌تواند درجه اهمیت و اولویت هر یک از اهداف را در نتایج به دست آمده دخالت دهد. در تحقیقی مشابه، شارما

1- Linear Programming
2- Goal Programming

3- Fuzzy Sets
4- Fuzzy Goal Programming
5- Fuzzy sets theory

و همکاران (18) نیز با توجه به ویژگی‌ها و مزیت‌های برنامه ریزی آرمانی، از این تکنیک در برنامه ریزی کشاورزی بهره جستند. این محققین با استفاده از برنامه ریزی آرمانی فازی، توانستند در منطقه قاضی آباد هند، الگوهای مناسب کشت را جهت انجام برنامه ریزی بهتر در حوزه کشاورزی، تعیین نمایند.

در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه برنامه‌ریزی کشاورزی با استفاده از برنامه ریزی آرمانی فازی انجام گرفته است. نتایج مطالعه اسدپور و همکاران (1) در زمینه استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی در بهینه سازی الگوی کشت در استان مازندران، نشان داد که با ایجاد انعطاف در آرمان ها و در قالب پارامترهای سمت راست مدل فازی، منابع به نحو بهتری تخصیص می یابند و در این حالت، سطح زیر کشت توسعه پیدا می کند. کهنسال و محمدیان (3) نیز از این مدل برای تعیین الگوی بهینه کشت در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده کردند که نتایج نشان داد که انعطاف پذیری در مدل برنامه ریزی آرمانی بر اساس شرایط فازی، می تواند الگوهای کشت را به طور نسبی بهبود بخشد. راعی جدیدی و صبوحی صابونی (2)، از مدل برنامه ریزی آرمانی فازی جهت تخصیص بهینه زمین های کشاورزی منطقه کشک سرای شهرستان مرند استفاده نمودند. به این منظور، 4 آرمان در قالب 16 ترکیب وزنی در قالب تک هدفه و ترکیبی مد نظر قرار گرفتند و سناریوهای ایجاد شده بر اساس تابع فاصله اقلیدسی اولویت‌بندی گردیدند و الگوهای بهینه کشت شناسایی شدند. مردانی و همکاران (4) نیز در مطالعه خود با استفاده از برنامه ریزی آرمانی فازی، به تعیین الگوهای بهینه کشت در استان خراسان رضوی پرداختند. در این تحقیق، آنها از مفهوم نوسانات برای حل آسانتر مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی استفاده نمودند و در نهایت، سه الگوی بهینه کشت برای محصولات زراعی شناسایی گردید. بنا به باور محققین، در مدل مورد استفاده می توان با ایجاد انعطاف در آرمان‌ها، منابع را به نحو بهتری تخصیص داد.

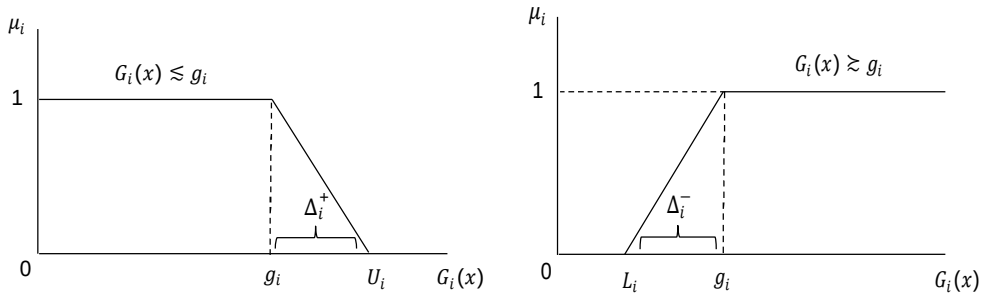
هر چند مطالعات مشابهی زمینه تعیین ترکیب مناسب کشت با استفاده از برنامه ریزی آرمانی فازی انجام شده اند، اما اکثر این مطالعات مدل ارائه شده را در قالب یک رویکرد مورد تحلیل قرار داده‌اند. در تحقیق حاضر، با انجام سناریوپردازی های مختلف، امکان مدل سازی و حل مسأله در حالت های مختلف فراهم شده است. نتایج حاصل از اجرای فرایند پیشنهادی می تواند گزینه های متعددی را برای ترکیب کشت محصولات در اختیار تصمیم گیرندگان قرار دهد تا بتوانند تحت شرایط مختلف، الگوی مناسب را انتخاب نمایند.

مواد و روش ها

این مطالعه با هدف تعیین الگوهای مناسب کشت محصولات کشاورزی در یک مزرعه واقع در منطقه زوارم، یکی از مناطق اصلی کشت محصولات کشاورزی در 20 کیلومتری شهرستان شیروان (واقع در استان خراسان شمالی) انجام گرفته است. این مزرعه دارای زمینی به مساحت 4 هکتار می باشد که خاک آن ماهیت زراعی داشته و سابقه کشت محصولات زراعی در آن به حدود 9 سال می رسد که در سال‌های اخیر کشت محصولاتی نظیر گندم آبی، جو آبی، عدس، نخود و لوبیا قرمز مورد توجه تصمیم گیرندگان بوده است. آبیاری در این مزرعه به صورت آبیاری سطحی است که در واقع، آب مورد نیاز از چشمه های طبیعی تأمین گردیده و آبیاری بر اساس سهمیه‌بندی صورت گرفته در منطقه مربوطه انجام می پذیرد. در این مطالعه برای تعیین الگوی مناسب کشت این مزرعه از مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی بهره گرفته می‌شود. از دلایل استفاده از مدل برنامه ریزی آرمانی می توان به وجود اهداف غیر قابل جمع در مسأله تعریف شده اشاره نمود. همچنین، استفاده از مدل برنامه ریزی آرمانی فازی نیز به دلایلی نظیر عدم دسترسی به مقدار دقیق برخی از پارامترهای مسأله و امکان لحاظ نمودن سطوح آرمانی آنها در مدل مدنظر قرار گرفته است. داده های مورد نیاز از طریق مصاحبه حضوری با تصمیم گیرندگان (کشاورزان مزرعه)، مشاهده دفاتر حسابداری مزرعه مورد مطالعه، گزارشات وزارت جهاد کشاورزی و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان شیروان جمع آوری گردیده اند. به منظور حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی نیز از برنامه نرم افزاری WinQSB بهره گرفته شده است. نحوه بکارگیری مدل برنامه ریزی آرمانی فازی در ادامه تشریح گردیده است.

برای ساخت توابع عضویت مربوط به آرمان های مختلف مسأله از روش زیمرمن (24) بهره گرفته شد. بر این اساس، اگر آرمان i ام را به صورت $G_i(x)$ نمایش دهیم، آنگاه دو حالت ممکن برای آرمان وجود خواهد داشت. حالت اول زمانی است که $G_i(x) \lesssim g_i$ باشد. علامت$\lesssim$ معرف کوچکترمساوی فازی است، به این معنا که سمت راست نامعادله می تواند مقدار g_i را اختیار کند یا مقداری بیش از g_i را داشته باشد. در این صورت، تابع عضویت آرمان i ام به صورت رابطه 1 بیان می شود. در این رابطه، $U_i - g_i$ معرف حد نوسان می‌باشد که با Δ_i^+بیان می شود.g_i بیانگر حد مورد انتظار آرمان i ام و U_i بیانگر حد بالای نوسان آرمان iام می باشد.μ_i نیز درجه عضویت برقراری آرمان i ام را نشان می دهد که در دامنه [1 0] قرار دارد که مقدار 1 برای درجه عضویت، نشان دهنده رسیدن به سطح مورد نظر آرمان و سایر مقادیر در این دامنه بیانگر عدم دستیابی به سطح مورد نظر آرمان با میزان انحرافات مختلف می‌باشد.

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \ G_i(x) \le g_i \\ \dfrac{U_i - G_i(x)}{U_i - g_i} & \text{if } \ g_i \le G_i(x) \le U_i \\ 0 & \text{if} G_i(x) \ge U_i \end{cases} \qquad (1)$$



a) حالت اول $G_i(x) \lesssim g_i$ **b) حالت دوم $G_i(x) \gtrsim g_i$**

شکل1 - تابع عضویت آرمان فازی
Figure 1- Membership function of fuzzy goal

حالت دوم نیز زمـانی اسـت کـه $G_i(x) \gtrsim g_i$ باشـد، در ایـن صورت، تابع عضویت آرمان iام به صورت رابطه 2 بیان می‌گردد. در این رابطه، $g_i - L_i$ معرف حد نوسان می باشـد کـه بـا Δ_i^- بیـان می‌شود. g_i بیانگر سطح مورد انتظار آرمان iام و L_i بیانگر حد پایین نوسان آرمان iام می باشد.

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{if} G_i(x) \geq g_i \\ \dfrac{G_i(x) - L_i}{g_i - L_i} & \text{if } L_i \leq G_i(x) \leq g_i \\ 0 & \text{if } G_i(x) \leq L_i \end{cases} \quad (2)$$

در شکل 1، نمودار مربوط به تابع عضویت آرمان فـازی در هـر یک از این حالت ها آورده شده است. حالت اول، مربـوط بـه زمـانی است که $G_i(x) \lesssim g_i$ باشد و حالت دوم نیز، بیانگر وضعیتی اسـت که $G_i(x) \gtrsim g_i$ باشد.

به منظور ساده سازی انجام محاسبات برای حل مدل، با استفاده از روش تعیین نوسان کیم و وانگ (12)، مدل برنامه‌ریـزی آرمـانی فازی به یک مسأله خطی یک هدفه تبدیل می شود. بر این اساس، اگر آرمانی به سطح مورد نظر خود برسد، درجه عضـویت بـرای آن، یک می باشد و بنابراین، هیچ نوسانی در آرمان مربوطه وجود ندارد. از طرفی، هنگامی که آرمانی دارای نوسان باشد، درجه عضویت آن، کمتر از یک و یا بیشتر یا مساوی صفر است. با توجه به این تعریف ارائه شده از نوسانات کیم و وانگ (12)، مدل برنامه ریـزی آرمـانی فازی به یک مسأله خطی یک هدفه تبدیل می شود. اگر آرمان بـه صورت $G_i(x) \lesssim g_i$ مورد نظر باشد، از رابطه 3 می‌توان اقـدام بـه این تبدیل نمود.

$$G_i(x) \lesssim g_i : \quad (3)$$
$$G_i(x) + \mu_i\Delta_i^+ \leq g_i + \Delta_i^+$$
$$\rightarrow \; G_i(x) + \mu_i\Delta_i^+ - \Delta_i^+ \leq g_i$$
$$\rightarrow \; G_i(x) - (1-\mu_i)\Delta_i^+ \leq g_i$$
$$\rightarrow G_i(x) - \theta_i\Delta_i^+ \leq g_i$$

حال اگر آرمان به صورت $G_i(x) \gtrsim g_i$ مد نظر قـرار گیـرد، از رابطه 4 می‌توان این تبدیل را انجام داد.

$$G_i(x) \gtrsim g_i : \quad (4)$$
$$G_i(x) - \mu_i\Delta_i^- \geq g_i - \Delta_i^-$$
$$\rightarrow \; G_i(x) - \mu_i\Delta_i^- + \Delta_i^- \geq g_i$$
$$\rightarrow \; G_i(x) + (1-\mu_i)\Delta_i^- \geq g_i$$
$$\rightarrow G_i(x) + \theta_i\Delta_i^- \geq g_i$$

در این روابط، Δ_i^+ و Δ_i^- معرف حد نوسان و θ_i معرف متغیر نوسان در آرمان i ام می باشد که با توجه به تعریف ارائه شده از نوسـانات، معادل خواهد بود با $(1-\mu_i)$، بنابراین متغیر نوسان θ_iبـرای هـر آرمان، مقداری در دامنه [0 1] خواهد داشت. بـه عبـارتی داریـم (رابطه 5):

$$1-\mu_i = \theta_i : \quad (5)$$
$$\begin{cases} \mu_i = 1 \rightarrow \theta_i = 0 & \text{آرمان به سطح مورد نظر رسیده است (نوسانی وجود ندارد)} \\ \mu_i = 0 \rightarrow \theta_i = 1 & \text{آرمان به سطح مورد نظر نرسیده است (حداکثر نوسان وجود دارد)} \\ 0 < \mu_i < 1 \rightarrow 0 < \theta_i < 1 & \text{آرمان به سطح مورد نظر نرسیده است (نوسان وجود دارد)} \end{cases}$$

در این مرحله، جهت تبدیل مدل برنامه ریزی آرمانی فـازی بـه یک مسأله خطی یک هدفه، تابع هدف مسأله بـه صـورت رابطـه 6 بیان می گردد.همان طور که مشخص است، تابع هدف بـه صـورت حداقل سازی متغیرهای نوسان بیان شده اسـت. در ایـن تـابع، W_i بیانگر درجه اهمیت یا وزن آرمان iام می باشد.

در واقع، هدف تابع مذکور، حداکثرسازی میزان دستیابی به سطح مطلوب آرمان ها (حداکثرسازی درجه عضویت ها) می‌باشد که این امر با حداقل سازی میزان نوسانات (انحرافات) آرمان‌ها از سطح مطلوب آنها محقق می‌گردد.

$$Min\ Z = \sum_{i=1} W_i\, \theta_i \qquad (6)$$

ممکن است بر اساس سناریوهای مختلف، مقادیر متفاوتی برای اوزان (W_i ها) در تابع هدف مدل در نظر گرفته شود. از طرفی، از آنجایی که در مدل برنامه ریزی آرمانی فازی، معمولاً اهداف در تضاد با یکدیگر می‌باشند، تصمیم‌گیرندگان ممکن است در مورد تخصیص اولویت های مناسب به اهداف متعدد دچار سردرگمی شوند. در چنین وضعیتی، انتخاب بهترین پارامترها بر اساس ترکیبات مختلف وزنی برای اهداف یا آرمان های متعدد امری دشوار به نظر می رسد. برای غلبه بر چنین مشکلی، از تابع فاصله اقلیدسی درجه عضویت ها که توسط یو (22) معرفی گردیده است، استفاده می شود که این تابع به صورت رابطه 7 بیان می گردد (5).

$$D_k = \left[\sum_{i=1}(1-\mu_i^k)^2\right]^{1/2} = \left[\sum_{i=1}(\theta_i^k)^2\right]^{1/2} \qquad (7)$$

در این رابطه، μ_i^k بیانگر مقدار عضویت به دست آمده آرمان iام تحت ساختار اولویت بندی k ام می باشد. چون بالاترین مقدار عضویت هر کدام از اهداف فازی یک است، بنابراین نقطه ایده آل برداری خواهد بود که همه عناصر آن (θ_i ها) یک باشند و بهترین ساختار باید کمترین مقدار فاصله اقلیدسی (D) را داشته باشد. ما در این تحقیق، این رابطه را به تابع فاصله اقلیدسی از نوسانات تبدیل کرده و از آن در مطالعه حاضر استفاده نموده‌ایم. بر اساس رابطه فوق، فاصله اقلیدسی در ساختار وزنی kام (الگوی کشت kام) برای آرمان های مختلف، از مجذور مجموع مربعات مقدار متغیر نوسان آرمان های مختلف برای آن ساختار به دست می آید و بهترین ساختار وزنی، ساختاری است که کمترین فاصله اقلیدسی بر اساس آرمان ها را داشته باشد. به عبارتی، با استفاده از رابطه فاصله اقلیدسی، قصد داریم مشخص کنیم که در کدامیک از الگوهای کشت پیشنهادی، دستیابی به بیشترین سطح مطلوب با مدنظر قرار دادن تمامی آرمان های مدنظر محقق می گردد. بنابراین، با توجه به رابطه (8)، D^* به عنوان کمترین فاصله اقلیدسی ایجاد شده می تواند به عنوان مبنایی در ایجاد ساختار اولویت بندی برای یک تصمیم رضایت بخش در این زمینه مورد توجه قرار گیرد (5).

$$D^* = min\{D_k\}\ ,\quad k = 1,2,\dots,K \qquad (8)$$

در این تحقیق، مدل پیشنهادی در مقیاس یک مزرعه پیاده سازی شده است. تصمیم گیرندگان (کشاورزان) مزرعه می‌خواهند بدانند در نیمسال اول با توجه به محدودیت های موجود، چه مقدار از زمین این مزرعه را به کشت گندم آبی، جو آبی، عدس، نخود و لوبیا قرمز اختصاص دهند تا اهداف مدنظر تا حد ممکن تحقق یابند. با توجه به شرایط حاکم بر مسأله و وضعیت داده‌ها، مسأله به صورت برنامه ریزی آرمانی فازی، مدل سازی شده و سناریوها یا راهکارهای مختلفی در اختیار تصمیم گیرندگان (کشاورزان مزرعه) برای الگوهای مختلف کشت ارائه می دهد. جزئیات مسأله مورد بررسی به شرح ذیل می باشد:

تعریف متغیرها و نمادها: به منظور بیان ریاضی مدل مسأله لازم است تا متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در مدل تعریف گردند. متغیرها و پارامترهای مورد استفاده در تحقیق حاضر به صورت زیر تعریف شده‌اند:

j : مجموعه محصولات: $j = \{1,2,\dots,n\}$
گندم آبی($j=1$)،جو آبی ($j=2$)، عدس ($j=3$)، نخود ($j=4$) و لوبیا قرمز ($j=5$)

X_j : مساحت زمین کشت شده برای محصول j (هکتار)

L : مساحت کل زمین زراعی در دسترس(هکتار)

w_j : مقدار آب مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین (مترمکعب)

TW : مقدار آب مورد انتظار در دسترس برای آبیاری (مترمکعب)

l_j : میزان نیروی کار مورد نیاز برای محصول jام هر هکتار زمین (نفر روز)

TL : میزان نیروی کار مورد انتظار در دسترس (نفر روز)

h_j : میزان ساعت کاری مورد نیاز ماشین آلات برای محصول jام در هر هکتار زمین (ساعت)

TH : میزان ساعت کاری مورد انتظار در دسترس ماشین آلات (ساعت)

s_j : میزان سم مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین (کیلوگرم)

TS : میزان سم مورد انتظار در دسترس (کیلوگرم)

f_j : میزان کودفسفات مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین (کیلوگرم)

TF : میزان کودفسفات مورد انتظار در دسترس (کیلوگرم)

o_j : میزان کوداوره مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین (کیلوگرم)

TO : میزان کوداوره مورد انتظار در دسترس (کیلوگرم)

p_j : میزان کودپتاس مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین (کیلوگرم)

TP : میزان کودپتاس مورد انتظار در دسترس (کیلوگرم)

c_j : میزان هزینه های نقدی مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین (میلیون ریال)

TC : میزان کل هزینه های نقدی مورد انتظار (میلیون ریال)

r_j : میزان درآمد حاصل (سود ناخالص) برای محصول jام در هر هکتار زمین (میلیون ریال)

TR : میزان کل درآمدهای مورد انتظار (سود ناخالص مورد انتظار) (میلیون ریال)

تعریف آرمان ها: آرمان های مسأله مورد مطالعه به شرح زیر بیان شده اند. قابل ذکر است که آرمان های مدل، سطح مطلوب آرمان ها و میزان نوسانات آنها در مسأله شناسایی شده بر اساس نظرات تصمیم گیرندگان و با توجه به تجربیات سال‌های گذشته آنها تعیین گردیده و در مقیاس سالانه بیان شده اند.

1) آرمان مربوط به آب مصرفی: با توجه به تأثیرگذار بودن میزان آب در دسترس بر انتخاب نوع محصولات زراعی به منظور کشت، لازم است تا آرمانی برای آب مصرفی در نظر گرفته شود. از آنجایی که قطعیتی در مورد میزان آب در دسترس وجود ندارد و تنها می توان بازه مورد انتظاری را بر اساس نوسان ممکن تعریف نمود، لذا آرمان مربوط به آب مصرفی به صورت یک آرمان یا محدودیت فازی در نظر گرفته شده است. اگر مقدار آب مورد انتظار در دسترس برای آبیاری را با TW و مقدار آب مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین را با w_j نمایش دهیم، آرمان مربوطه به صورت رابطه 9 بیان می گردد.

$$\sum_{j=1}^{n} w_j\, x_j \lesssim TW \qquad (9)$$

2) آرمان مربوط به نیروی کار: از آنجایی که یکی از عوامل مهم در کشاورزی، موضوع نیروی کار در دسترس می‌باشد، لذا با توجه به نوسان موجود در میزان نیروی کار در دسترس، آرمان مربوطه به صورت فازی در نظر گرفته شده است. اگر TL معرف میزان نیروی کار مورد انتظار در دسترس و l_j نشان دهنده میزان نیروی کار مورد نیاز برای محصول j در هر هکتار زمین باشد، آرمان مربوطه به صورت رابطه 10 بیان می‌شود.

$$\sum_{j=1}^{n} l_j\, x_j \lesssim TL \qquad (10)$$

3) آرمان مربوط به ساعات کاری ماشین آلات: به منظور بهره برداری از ماشین آلات در عملیات مختلفی نظیر آماده سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت، برآوردی از ساعات کار ماشین آلات می تواند از هزینه های اضافی مربوطه جلوگیری نماید. اگر میزان ساعت کاری مورد انتظار در دسترس ماشین آلات را با TH و میزان ساعت کاری مورد نیاز ماشین آلات برای محصول j در هر هکتار زمین را با h_j نشان دهیم، آنگاه با توجه به نوسانات TH، آرمان فازی مربوطه به صورت رابطه 11 بیان می‌گردد.

$$\sum_{j=1}^{n} h_j\, x_j \lesssim TH \qquad (11)$$

آرمان های مربوط به سموم و کودهای شیمیایی: از آنجایی که برای بهره برداری بهتر از کشت محصولات کشاورزی به سموم و کودهای شیمیایی مختلفی نیاز می باشد، و با توجه به محدود بودن دسترسی به میزان این نهاده ها، لازم است تا محدودیت هایی دراین زمینه در مدل مسأله لحاظ شوند، به این منظور، آرمان هایی برای سم، کود فسفات، کود اوره و کود پتاس به صورتی که در ادامه می آید، در نظر گرفته شده است:

4) آرمان مربوط به سم: اگرمیزان سم مورد انتظار در دسترس را با TS و میزان سم مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین را با s_j نمایش دهیم، آنگاه آرمان فازی مربوطه به صورت رابطه 12 قابل بیان می باشد.

$$\sum_{j=1}^{n} s_j\, x_j \lesssim TS \qquad (12)$$

5) آرمان مربوط به کود فسفات: اگر TF بیانگر میزان کودفسفات مورد انتظار در دسترس و f_j نشان دهنده میزان کودفسفات مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین باشد، آنگاه آرمان فازی مربوطه به صورت رابطه 13 بیان می‌گردد.

$$\sum_{j=1}^{n} f_j\, x_j \lesssim TF \qquad (13)$$

6) آرمان مربوط به کود اوره: اگرمیزان کوداوره مورد انتظار در دسترس با TO ومیزان کوداوره مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین نیز با o_j نمایش داده شوند، آنگاه آرمان فازی مربوطه به صورت رابطه 14 قابل بیان می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^{n} o_j\, x_j \lesssim TO \qquad (14)$$

7) آرمان مربوط به کود پتاس: اگرمیزان کودپتاس مورد انتظار در دسترس را با TP و میزان کودپتاس مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین را با p_j نشان دهیم، آنگاه آرمان فازی مربوطه به صورت رابطه 15 بیان می شود.

$$\sum_{j=1}^{n} p_j\, x_j \lesssim TP \qquad (15)$$

8) آرمان مربوط به هزینه های نقدی: با توجه به این که عملیات و فعالیت های مختلف کشاورزی در مراحل آماده سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت مانند بکارگیری نیروی انسانی، اجاره ماشین آلات کشاورزی، خرید سموم و کودهای شیمیایی و غیره، هزینه هایی را به همراه خواهند داشت، لذا در مدل سازی مسأله بایستی این هزینه ها نیز لحاظ کردند. بنابراین، اگر میزان کل

هزینه‌های نقدی مورد انتظار را با TC و میزان هزینـه هـای نقـدی مورد نیاز برای محصول jام در هر هکتار زمین را با c_j نشان دهیم، آنگاه آرمان فازی مربوطه به صورت رابطه 16 بیان می گردد.

$$\sum_{j=1}^{n} c_j\, x_j \lesssim TC \qquad (16)$$

9) آرمان مربوط به درآمدها (سود ناخالص): مشخص است که انجام فعالیت های کشاورزی به منظور دستیابی بـه درآمـدهای مورد انتظار صورت می گیرد که این درآمدها بایستی علاوه بر ایـن که هزینه های تحمیل شده را پوشش می‌دهند، عایدی یا سودی نیز به همراه داشته باشند. به این منظور، میزان حداقلی بـرای درآمـدها (سود ناخالص) در نظر گرفته شده است که باید تأمین گردد. بنابراین، اگر TRمیزان کل درآمدهای مورد انتظار (سود ناخالص مورد انتظار)و r_jمیزان درآمد حاصل (سود ناخالص) برای محصول jام در هر هکتار زمین باشند، آرمان فازی مربوطه به صورت رابطه 17 بیان می‌شود.

$$\sum_{j=1}^{n} r_j\, x_j \gtrsim TR \qquad (17)$$

تعریف محدودیت های قطعی: محدودیت های قطعی مسأله نیز با توجه به مورد مطالعه، به صورت زیر استخراج شده اند:

محدودیت های زمین: تنها محدودیت قطعی مسأله، به زمین مورد نظر برای کشت محصولات مربوط می‌باشد. از آنجایی که کل مساحت زمین، مشخص می باشد لذا محدودیت مربـوط بـه آن بـه صورت قطعی در نظر گرفته شده است. اگر کـل مسـاحت زمـین در دسترس را با L نشان دهیم، آنگاه محـدودیت مربوطـه بـه صـورت رابطه 18 بیان می شود. این محدودیت بیان می دارد که کل زمـین مورد استفاده در انواع محصولات از میزان زمین در دسـترس بیشـتر نباشد.

$$\sum_{j=1}^{n} x_j \le L \qquad (18)$$

از طرفی، در مسأله مورد نظر در این مطالعه، با توجه به شـرایط ویژه ابعاد زمین، وضعیت خاک و مصارف خانگی برخی از محصولات برای کشاورزان، و بر اسـاس نظـر تصـمیم گیرنـدگان (کشـاورزان مزرعه)، محدودیت های دیگری نیز در مورد زمین در نظر گرفته شد. در این راستا، قرار شد بخشی از زمین (حداقل به میزان L_1هکتار) به کشت عدس و نخود یا یکی از آنها، بخشی از زمین (حداقل به میزان L_2هکتار) به کشت لوبیا، و بخشی دیگر (حداقل به میزان L_3هکتار) نیز به کشت گندم و جو یا یکی از آنها اختصاص داده شود. با توجـه به توضیحات داده شده، محدودیت های مربوط به این قسمت ها را می توان به صورت زیر بیان نمود.

$$x_3 + x_4 \ge L_1 \qquad (19)$$

$$x_5 \ge L_2 \qquad (20)$$

$$x_1 + x_2 \ge L_3 \qquad (21)$$

تعریف تابع هدف: همان طور که قبلاً نیز اشاره گردید، در این تحقیق، تابع هدف مسألهبا توجه بـه مفهـوم نوسـانات، بـه صـورت حداقل سازی مجموع نوسانات آرمان های مختلـف در نظـر گرفتـه شده است. اگر متغیر نوسان مربوط به آرمان iام باθ_i و وزن یا درجه اهمیت آن نیز با w_i نشان داده شود، آنگاه تابع هدف مدل مسأله به صورت رابطه 22 بیان می‌گردد.

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{9} W_i\, \theta_i \qquad (22)$$

در رابطه فوق، w_i ها بر اساس نظرات تصمیم گیرندگان (کشاورزان) به گونه ای تعیین می شوند که مجموع این وزن ها برابر یک باشـد ($\sum_{i=1}^{9} W_i = 1$). این نظرات در قالب نظرسنجی به مقیاس کمـی تبدیل شده‌اند.

مدل کلی مسأله: با توجه به توضیحات اشاره شده، در نهایت، مدل برنامه ریزی آرمانی مسأله مدنظر در ایـن تحقیـق بـا در نظـر گرفتن مفهوم نوسانات به صورت زیر نوشته می شود:

تابع هدف: حداقل سازی نوسانات از سطح مطلوب آرمان ها

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{9} W_i\, \theta_i$$

Subject to:

آرمان (1): آب مصرفی

$$\sum_{j=1}^{5} w_j\, x_j - \theta_1 \Delta_1^{+} \le TW$$

آرمان (2): نیروی کاری

$$\sum_{j=1}^{5} l_j\, x_j - \theta_2 \Delta_2^{+} \le TL$$

آرمان (3): ساعات کاری ماشین آلات

$$\sum_{j=1}^{5} h_j\, x_j - \theta_3 \Delta_3^{+} \le TH$$

آرمان (4): سم

$$\sum_{j=1}^{5} s_j\, x_j - \theta_4 \Delta_4^{+} \le TS$$

آرمان (5): کود فسفات

$$\sum_{j=1}^{5} f_j\, x_j - \theta_5 \Delta_5^{+} \le TF$$

آرمان (6): کود اوره

$$\sum_{j=1}^{5} o_j\, x_j - \theta_6 \Delta_6^{+} \le TO$$

آرمان (7): کود پتاس

$$\sum_{j=1}^{5} p_j\, x_j - \theta_7 \Delta_7^{+} \le TP$$

آرمان (8): هزینه های نقدی

$$\sum_{j=1}^{5} c_j\, x_j - \theta_8 \Delta_8^{+} \le TC$$

آرمان (9): درآمدها

$$\sum_{j=1}^{5} r_j\, x_j + \theta_9 \Delta_9^{-} \ge TR$$

محدودیت زمین: کل زمین در دسترس	$\sum_{j=1}^{5} x_j \le L$
محدودیت زمین: زمین اختصاصی به عدس و نخود (یا یکی از آنها)	$x_3 + x_4 \ge L_1$
محدودیت زمین: زمین اختصاصی به لوبیا	$x_5 \ge L_2$
محدودیت زمین: زمین اختصاصی به گندم و جو (یا یکی از آنها)	$x_1 + x_2 \ge L_3$
محدوده مقدار متغیرهای نوسان برای آرمان ها	$0 \le \theta_i \le 1 \quad i = 1,2,\dots,9$
تعریف بازه متغیرهای مدل (قیود غیر منفی)	$x_j \ge 0 \quad j = 1,2,\dots,5$

به منظور سناریوپردازی در مورد الگوهای مختلف کشت محصولات زراعی، تابع هدف مدل در حالت های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. جدول 1، فرم کلی تابع هدف مدل بر اساس هر یک از سناریوهای در نظر گرفته شده را نشان می دهد.

همان طور که مشاهده می شود، ابتدا سه آرمان (هدف) اصلی یعنی آرمان درآمد، آرمان هزینه و آرمان منابع تولیدی (شامل آرمان‌های آب مصرفی، نیروی کار، ساعات کاری ماشین آلات، سم و کودهای شیمیایی) به تنهایی در تابع هدف مدل وارد شدند (سناریوهای 1، 2 و 3). سپس، ترکیبات مختلف این سه آرمان در تابع هدف مدل مدنظر قرار گرفتند (سناریوهای 4، 5 و 6). در نهایت نیز تمامی آرمان ها بر اساس اولویت و درجه اهمیت، با وزن‌های یکسان (سناریو 7) و با وزن های متفاوت (سناریوی 8) در تابع هدف مدل وارد شدند. در نهایت، پس از بررسی سناریوهای مختلف الگوهای کشت، بر اساس کمترین فاصله اقلیدسی ایجاد شده در آرمان‌ها برای هر سناریو، به اولویت بندی این سناریوها (الگوهای کشت) پرداخته شده است.با توجه به داده های جمع آوری شده و مشخص شدن مقادیر پارامترهای مسأله، در نهایت، مدل ریاضی مسأله به صورت زیر تشکیل گردید.

جدول1 - فرم کلی تابع هدف مدل بر اساس سناریوهای مختلف

Table 1- The objective function form based on different scenarios

سناریو (Scenario)	آرمان های در نظر گرفته شده در تابع هدف مدل (Goals in the objective function)	فرم کلی تابع هدف مدل (The objective function)
1	درآمد (Income)	$Min\ Z = W_9\theta_9$
2	هزینه (Cost)	$Min\ Z = W_8\theta_8$
3	منابع تولید (Production resource)	$Min\ Z = \sum_{i=1}^{7} W_i\theta_i$
4	درآمد – هزینه (Income-Cost)	$Min\ Z = \sum_{i=8}^{9} W_i\theta_i$
5	درآمد- منابع تولید (Income-Production resource)	$Min\ Z = \sum_{i=1}^{7} W_i\theta_i + W_9\theta_9$
6	هزینه- منابع تولید (Cost -Production resource)	$Min\ Z = \sum_{i=1}^{7} W_i\theta_i + W_8\theta_8$
7	درآمد- هزینه- منابع تولید(با وزن های یکسان) (Income- Cost-Production resource with equal weights)	$Min\ Z = \sum_{i=1}^{9} W_i\theta_i = \sum_{i=1}^{9} \theta_i$
8	درآمد- هزینه- منابع تولید(با وزن های متفاوت) (Income- Cost-Production resource with different weights)	$Min\ Z = \sum_{i=1}^{9} W_i\theta_i$

Source: Research findings ماخذ: یافته‌های تحقیق

$$Min\ Z = W_1\theta_1 + W_2\theta_2 + W_3\theta_3 + W_4\theta_4 + W_5\theta_5 + W_6\theta_6 + W_7\theta_7 + W_8\theta_8 + W_9\theta_9 \quad (23)$$

Subject to:

$$3780\,x_1 + 3240\,x_2 + 3550\,x_3 + 3460\,x_4 + 3900\,x_5 - 4000\,\theta_1 \le 20000$$
$$42\,x_1 + 55\,x_2 + 53\,x_3 + 45\,x_4 + 59\,x_5 - 50\,\theta_2 \le 170$$

$$15\,x_1 + 12\,x_2 + 10\,x_3 + 10\,x_4 + 10\,x_5 - 10\,\theta_3 \le 70$$
$$1.5\,x_1 + 0.8\,x_2 + 0.6\,x_3 + x_4 + 2.5\,x_5 - 3\,\theta_4 \le 10$$
$$135\,x_1 + 130\,x_2 + 71\,x_3 + 56\,x_4 + 135\,x_5 - 60\,\theta_5 \le 700$$
$$228\,x_1 + 193\,x_2 + 105\,x_3 + 48\,x_4 + 194\,x_5 - 50\,\theta_6 \le 700$$
$$16\,x_1 + 13\,x_2 + 4\,x_3 + 6\,x_4 + 11\,x_5 - 10\,\theta_7 \le 100$$
$$84\,x_1 + 79\,x_2 + 67\,x_3 + 59\,x_4 + 73\,x_5 - 75\,\theta_8 \le 350$$
$$210\,x_1 + 180\,x_2 + 150\,x_3 + 140\,x_4 + 170\,x_5 + 150\,\theta_9 \ge 850$$
$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \le 4$$
$$x_3 + x_4 \ge 0.2$$
$$x_5 \ge 0.3$$
$$x_1 + x_2 \ge 2.7$$
$$0 \le \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_9 \le 1$$
$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \ge 0$$

مقادیر Δ_i^+ و Δ_i^- که به ترتیب معرف حد بالا و پایین نوسان می‌باشند، در آرمان ها اعمال گردیده اند. این حدود نوسان بر اساس نظرات تصمیم گیرندگان و با توجه به تجربیات سال های گذشته آنها تعیین گردیده اند. برای مثال، Δ_1^+ که معرف حد نوسان برای آرمان اول (آب مصرفی) می باشد، دارای مقدار 4000 مترمکعب است که این نشان می دهد که آب مورد انتظار در دسترس (20000 مترمکعب) می تواند نوسانی به میزان اشاره شده داشته باشد که در این حالت، تا 24000 مترمکعب نیز می توان از آب در دسترس جهت آبیاری استفاده نمود.

نتایج و بحث

با تشکیل مدل مسأله، تغییرات مورد نیاز بر اساس 8 سناریو در نظر گرفته شده اعمال گردید. در هر یک از این سناریوها، وزن های مربوط به آرمان ها بر اساس منطق مدل و یا بر اساس نظرسنجی از تصمیم گیرندگان (کشاورزان مزرعه) در تابع هدف مدل اعمال شدند. بر اساس هر یک از این سناریوها، توابع هدف مدل های مربوط به سناریوهای مختلف پس از اعمال وزن های مربوطه به صورت جدول 4 مشخص گردیدند.

مدل های تشکیل یافته بر اساس هر یک از سناریوهای هشتگانه با استفاده از برنامه نرم افزاری WinQSB حل شدند که نتایج نهایی، در جدول 5 گزارش گردیده است. عدد صفر برای متغیر نوسان حاکی از این است که آرمان مربوطه بدون هیچ مقدار نوسانی در سطح مطلوب خود قرار دارد. عدد 1 برای متغیر نوسان نشان می دهد که آرمان مربوط بالاترین حد نوسان را اختیار نموده است. اعداد بین صفر و 1 برای متغیرهای نوسان نیز معرف دستیابی به آرمان مربوطه تا حد مشخصی است. برای مثال، بر اساس سناریو 1، برای آرمان های 1، 3، 4، 5، 7 و 8 متغیر نوسان با مقدار صفر نشان می‌دهد که بر اساس این سناریو دقیقاً به سطح مطلوب آرمان های مربوطه رسیده ایم و برای آرمان 6 متغیر نوسان با مقدار 1 مشخص می نماید که به بالاترین سطح نوسان آرمان دست یافته‌ایم و سایر اعداد متغیر نوسان برای آرمان های 2 و 9 حاکی از دستیابی به سطح مطلوب آرمان تا حدودی خاصی است.

جدول2- تابع هدف مدل نهایی بر اساس سناریوهای مختلف

Table 2- The final objective function based on different scenarios

سناریو (Scenario)	تابع هدف در مدل مسأله (The objective function in model)
1	$Min\ Z = \theta_9$
2	$Min\ Z = \theta_8$
3	$Min\ Z = 0.2\,\theta_1 + 0.2\,\theta_2 + 0.2\,\theta_3 + 0.1\,\theta_4 + 0.1\,\theta_5 + 0.1\,\theta_6 + 0.1\,\theta_7$
4	$Min\ Z = 0.5\,\theta_8 + 0.5\,\theta_9$
5	$Min\ Z = 0.1\,\theta_1 + 0.1\,\theta_2 + 0.1\,\theta_3 + 0.05\,\theta_4 + 0.05\,\theta_5 + 0.05\,\theta_6 + 0.05\,\theta_7 + 0.5\,\theta_9$
6	$Min\ Z = 0.1\,\theta_1 + 0.1\,\theta_2 + 0.1\,\theta_3 + 0.05\,\theta_4 + 0.05\,\theta_5 + 0.05\,\theta_6 + 0.05\,\theta_7 + 0.5\,\theta_8$
7	$Min\ Z = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6 + \theta_7 + \theta_8 + \theta_9$
8	$Min\ Z = 0.1\,\theta_1 + 0.1\,\theta_2 + 0.1\,\theta_3 + 0.05\,\theta_4 + 0.05\,\theta_5 + 0.05\,\theta_6 + 0.05\,\theta_7 + 0.25\,\theta_8 + 0.25\,\theta_9$

Source: Research findings ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول3- نتایج حاصل از حل مدل مسأله بر اساس سناریوهای مختلف

Table 3- The result of model solution based on different scenarios

متغیر (Variable)	سناریو (Scenario)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
θ_1	0	0	0	0	0	0	0	0
θ_2	0.18	0	0	0.18	0.18	0	0	0.12
θ_3	0	0	0	0	0	0	0	0
θ_4	0	0	0	0	0	0	0	0
θ_5	0	0	0	0	0	0	0	0
θ_6	1	0.31	0	1	1	0	0	0.44
θ_7	0	0	0	0	0	0	0	0
θ_8	0	0	0	0	0	0	0	0
θ_9	0.62	0.84	0.97	0.62	0.62	0.97	0.97	0.71
μ_1	1	1	1	1	1	1	1	1
μ_2	0.82	1	1	0.82	0.82	1	1	0.88
μ_3	1	1	1	1	1	1	1	1
μ_4	1	1	1	1	1	1	1	1
μ_5	1	1	1	1	1	1	1	1
μ_6	0	0.69	1	0	0	1	1	0.56
μ_7	1	1	1	1	1	1	1	1
μ_8	1	1	1	1	1	1	1	1
μ_9	0.38	0.16	0.03	0.38	0.38	0.03	0.03	0.29
x_1	2.7	2.7	2.39	2.7	2.7	2.39	2.39	2.7
x_2	0	0	0.31	0	0	0.31	0.31	0
x_3	0	0	0	0	0	0	0	0
x_4	0.81	0.86	0.77	0.81	0.81	0.77	0.77	1
x_5	0.49	0.3	0.3	0.49	0.49	0.3	0.3	0.3

Source: Research findings

ماخذ: یافته‌های تحقیق

مقادیر هر یک از متغیرهای x نیز میزان زمین اختصاص یافته به هر یک از محصولات را نشان می دهد. بر اساس جدول فوق و با توجه به مفهوم متغیر نوسان، درجه عضویت هر یک از آرمان ها نیز از رابطه ($\theta_i = 1 - \mu_i$) محاسبه گردید که نتیجه آن در جدول 6 آورده شده است.

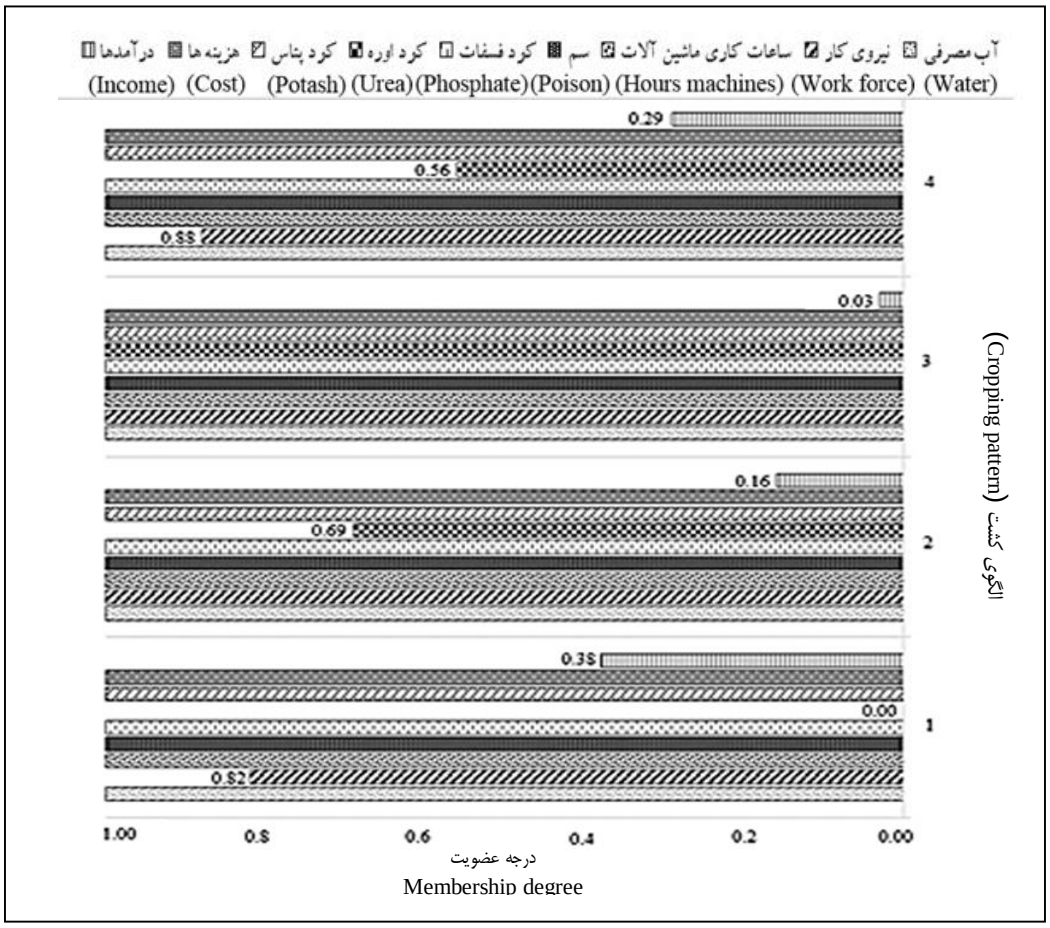
بر اساس خروجی های حاصل از حل مدل مسأله در قالب سناریوهای هشت گانه، در نهایت، 4 الگوی کشت شناسایی گردید که نتایج حاصل را به صورت زیر می توان تفسیر نمود:

● **الگوی کشت 1 (سناریوهای 1، 4 و 5):** بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد کهخروجی های حاصل از سناریوهای 1 (با محوریت درآمد)، 4 (با محوریت درآمد- هزینه) و 5 (با محوریت درآمد- منابع تولیدی) با یکدیگر یکسان می باشند. بر اساس هر یک از این سناریوها، درجه عضویت آرمان های1، 3، 4، 5، 7 و 8 معادل 1 خواهد بود که بیانگر دستیابی کامل به مقدار مطلوب این آرمان ها می‌باشد. این در حالی است که درجه عضویت آرمان 6 (کود اوره) برابر صفر است. از طرفی، در هر یک از سناریوهای مذکور، بیشترین درجه عضویت برای آرمان 9 (درآمد) به دست آمده است (0/38). یعنی اگر تمرکز تصمیم گیرندگان (کشاورزان مزرعه) بر دستیابی به بیشترین مقدار درآمد می‌باشد، الگوی کشت پیشنهادی توسط این سناریوها بایستی مد نظر قرار گیرد. در الگوی کشت حاصل از سناریوهای اشاره شده پیشنهاد می گردد که فقط برای محصولات گندم، نخود و لوبیا به ترتیب 2/7، 0/81 و 0/49 هکتار برای کشت در نظر گرفته شود.

● **الگوی کشت 2 (سناریوی 2):** هزینه، اساس این سناریو می باشد و در تابع هدف مربوطه فقط بر آن تمرکز شده است. شرایط مسأله به گونه ای می باشد که درجه عضویت برای آرمان 8 (هزینه) در تمامی سناریوها عدد 1 بوده است، یعنی بر اساس تمامی الگوهای پیشنهادی کشت می توان دقیقاً به سطح مطلوب آرمان هزینه دست یافت. بر اساس سناریو 2 پیشنهاد می گردد که فقط برای محصولات گندم، نخود و لوبیا به ترتیب 2/7، 0/86 و 0/3 هکتار برای کشت در نظر گرفته شود. در این وضعیت، دقیقاً به سطح مطلوب تمامی آرمان ها به جز آرمان های 6 و 9 دست خواهیم یافت.

● **الگوی کشت 3 (سناریوهای 3، 6 و 7):** بر اساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که خروجی های حاصل از سناریوهای 3

(با محوریت منابع تولیدی)، 6 (با محوریت هزینه- منابع تولیدی) و 7 (با محوریت درآمد- هزینه- منابع تولیدی بر اساس وزن های یکسان) با یکدیگر یکسان می باشند. بر اساس هر یک از این سناریوها، درجه عضویت تمامی آرمان ها به جز آرمان 9 (درآمد)، معادل 1 خواهد بود که بیانگر دستیابی کامل به مقدار مطلوب این آرمان ها می‌باشد. بر اساس سناریوهای مذکور پیشنهاد می گردد که فقط از محصولات گندم، جو، نخود و لوبیا به ترتیب میزان 2/39، 0/31، 0/77 و 0/3 هکتار کشت شود.



شکل2- درجه عضویت آرمان ها در الگوهای کشت

Figure 2- The Goals membership degree in cropping patterns

● **الگوی کشت 4 (سناریوی 8):** این سناریو با محوریت درآمد- هزینه- منابع تولیدی با وزن های متفاوت بوده است. لذا در تابع هدف مربوطه همه آرمان ها مد نظر قرار گرفته اند منتهی با درجه اهمیت های متفاوت. بر اساس این سناریو درجه عضویت آرمان های 1، 3، 4، 5، 7 و 8 معادل 1 خواهد بود و پیشنهاد می گردد که زمین کشاورزی فقط برای محصولات گندم، نخود و لوبیا به ترتیب به میزان 2/7، 1 و 0/3 هکتار اختصاص داده شود.

همان طور که مشخص است بر اساس هر یک از الگوهای کشت ارائه شده، میزان دستیابی به سطح مطلوب آرمان‌های مختلف متفاوت می باشد. شکل 2، امکان مقایسه بهتر بین درجه عضویت هر یک از 9 آرمان مدنظر را در قالب الگوهای کشت چهارگانه فراهم می آورد. بر این اساس، دستیابی به سطح مطلوب تمامی آرمان ها به جز آرمان‌های مربوط به نیروی کار (با درجه عضویت 0/82)، کود اوره (با درجه عضویت صفر) و درآمدها (با درجه عضویت 0/38) در الگوی کشت 1، آرمان‌های کود اوره (با درجه عضویت 0/69) و درآمدها (با درجه عضویت 0/16) در الگوی کشت 2، درآمدها (0/03) در الگوی کشت 3، و آرمان های نیروی کار (با درجه عضویت 0/88)، کود اوره (با درجه عضویت 0/56) و درآمدها (با درجه عضویت 0/29) در الگوی کشت 4، به طور کامل محقق گردیده است.

از طرفی، با بررسی سطح اختصاص یافته از زمین به محصولات

مورد مطالعه، مشخص می گردد که در تمامی الگوها، بر اساس آرمان و محدودیت های تعریف شده، کشت عدس پیشنهاد نشده است. این در حالی است که کشت جو نیـز در الگوهـای 1، 2 و 4 مـدنظر قـرار نگرفته است.

جدول4- فاصله اقلیدسی نوسانات آرمان ها در الگوهای کشت مختلف

Table 4- Euclidean distance of the goals swing in cropping patterns

الگوی کشت (Cropping pattern)	نوسان (Swing)									فاصله اقلیدسی (D) (Euclidean distance)
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	
1: سناریوهای 1، 4 و 5 1: Scenarios 1,4,5	0	0.18	0	0	0	1	0	0	0.62	1.19
2: سناریوی 2 2: Scenario 2	0	0	0	0	0	0.31	0	0	0.84	0.89
3: سناریوهای 3، 6 و 7 3: Scenarios 3,6,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.97	0.97
4: سناریوی 8 4: Scenario 8	0	0.12	0	0	0	0.44	0	0	0.71	0.84

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

به عبارتی، فقط در الگوی کشت 3 (سناریوهای با محوریت منابع تولیدی، محوریت هزینه- منابع تولیدی، و محوریت درآمد- هزینـه- منابع تولیدی بر اساس وزن های یکسان) کشت جـو پیشـنهاد شـده است. میزان زمین اختصاص داده شده برای گندم در الگوهای کشـت 1، 2 و 4 ، و بـرای لوبیـا در الگوهـای کشـت 2، 3 و4 نیـز یکسـان می‌باشند.

تصمیم گیرندگان (کشاورزان مزرعه) بـر اسـاس شـرایط حـاکم، می‌توانند با توجه بـه سـناریوهای مـدنظر، یکـی از الگوهـای کشـت چهارگانه را انتخاب کنند. اما ممکن است شرایط به گونهای باشد که انتخاب الگوی کشت مناسب از میان الگوهای پیشنهادی بـه راحتـی امکان پذیر نباشد. برای رفع این مشکل، فاصـله اقلیدسـی از میـزان نوسانات در هر یک از الگوهای کشت مورد استفاده قـرار گرفـت. در جدول 4 فاصله اقلیدسی از نوسانات برای هر یک از الگوهای کشـت به دست آمده است. همان طور که مشاهده مـی گـردد بـا توجـه بـه کمترین فاصله اقلیدسی (0/84)، در الگوی کشـت 4 کـه بـر اسـاس سناریوی 8 (درآمد- هزینه- منـابع تولیـدی بـا وزن هـای متفـاوت) استخراج شده است، در مجموع، کمترین نوسـانات از سـطح مطلـوب آرمان ها صورت گرفته است، لذا می‌توان آن را به عنوان مناسب ترین الگوی کشت در نظر گرفت. بر اساس فاصله اقلیدسی، الگوهای کشت 2، 3 و 1 به ترتیب با فاصله های اقلیدسـی 0/89، 0/97 و 1/19 در اولویت های بعدی قرار دارند.

هر چند در مطالعات گذشته نیز از برنامه ریزی آرمانی فازی جهت برنامه ریزی به منظور تعیین الگو یا ترکیب مناسب کشت محصولات زراعی بهره گرفته شده است، اما در اکثر این مطالعات، مدل ارائه شده در قالب یک رویکرد حل و تحلیـل شـده اسـت. در صـورتی کـه در مطالعه حاضر با انجام سناریوپردازی های مختلف، شناسایی چنـدین الگوی کشت صورت گرفته است تا در شرایط مختلـف بـا توجـه بـه اهمیت پیدا کردن هر یک از آرمان ها امکان تصمیم گیری بهتر میسر گردد. از طرفی، با استفاده از مفهوم فاصله اقلیدسی، الگوهای کشـت پیشنهادی با توجه به میزان دستیابی به سطح مطلوب تمامی آرمان ها نیز اولویت بندی شـدند. نتـایج حاصـل از مـدل ارائـه شـده امکـان تصمیم‌گیری در مورد ترکیب مناسب کشت محصـولات زراعـی را در شرایط مختلف بر اساس اهمیت پیدا کردن هر یک از آرمان‌ها فراهم می آورد و به عبارتی، گزینه های مختلفی را پیرامون نحـوه ترکیـب کشت یا الگوهای مربوطه و خروجی های حاصـل از آنهـا در اختیـار برنامه‌ریزان و تصمیم گیرندگان قرار می دهد تا بتوانند با بررسی نتایج حاصل از هر یک از الگوهای پیشنهادی و اولویت های مـدنظر خـود منطقی‌ترین تصمیمات را اتخاذ نمایند.

نتیجه گیری و پیشنهادها

هدف از انجـام تحقیـق حاضـر، تعیـین ترکیـب مناسـب کشـت محصولات زراعی در مقیاس یک مزرعه بود. به این منظـور از مـدل برنامه ریزی آرمانی فازی و تحلیل نتایج آن بـر اسـاس سـناریوهای مختلف بهره گرفته شد. الگوها یا ترکیبات مختلف کشت با توجه بـه سناریوهای مدنظر شناسایی گردیدند و در نهایت، الگوهای شناسـایی شده بر اساس میزان دستیابی به سـطح مطلـوب تمـامی آرمـان هـا اولویت بندی شدند. بر اساس نتایج به دسـت آمـده حاصـل از پیـاده سـازی فراینـد پیشـنهادی در مزرعـه مـورد مطالعـه، بـا توجـه بـه محدودیت‌ها و آرمان های شناسایی شده در نهایت چهار الگوی کشت

بر اساس خروجی های هشت سناریوی مطرح شده در مدل پیشنهاد گردیدند. یافته های تحقیق این امکان را برای برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان فراهم آورد که با توجه به مدنظر قرار گرفتن بیشترین سطح دستیابی به هر یک از آرمان ها که سناریوپردازی نیز بر همین اساس بوده است، بتوانند الگوی مناسب کشت را شناسایی نموده و نتایج حاصل از پیاده سازی این الگو را نیز مشاهده نمایند. تفاوت اصلی میان خروجی‌های حاصل از این الگوهای کشت در سطح دستیابی به میزان مطلوب آرمان های مختلف می باشد. همچنین با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی و مفهوم کم‌ترین میزان نوسانات از سطح مطلوب آرمان ها، این امکان فراهم گردید که الگوهای کشت مختلف بر اساس بیشترین میزان دستیابی به سطح مطلوب تمامی آرمان‌ها نیز اولویت بندی گردند. نتایج حاصل از تحقیق، نحوه ترکیب مناسب کشت محصولات گندم آبی، جو آبی، عدس، نخود و لوبیا قرمز را بر اساس الگوهای مختلف و نتایج حاصل از اجرای هر الگو به منظور انجام تصمیم‌گیری بهتر برای تصمیم گیرندگان مزرعه مورد مطالعه ارائه نمود.

فرایند پیشنهادی مطالعه حاضر می تواند کشاورزان را در تصمیم‌گیری‌های بهتر مربوط به الگوهای کشت مناسب محصولات زراعی بر اساس سناریوهای مختلف و با توجه به شرایط پیش آمده در محیط کمک بسیاری نماید تا بتوانند با مدنظر قرار دادن محدودیت های موجود، میزان منابع در دسترس و اهمیت اهداف یا آرمان‌های مدنظر، جهت کشت محصولات کشاورزی تصمیمات مناسبی را اتخاذ نمایند. به عبارتی، نتایج حاصل از این تحقیق، گزینه های متعددی را برای کشت محصولات زراعی با توجه به اولویت های مدنظر تصمیم گیرندگان و همچنین نتایج حاصل از اجرای هر یک از گزینه ها را در اختیار تصمیم گیرندگان قرار می دهد.

از محدودیت های تحقیق حاضر، می‌توان به مقطعی بودن زمان انجام آن اشاره نمود. به این مفهوم که برنامه‌ریزی صورت گرفته بر اساس الگوهای کشت پیشنهادی، مربوط به نیمسال اول می باشد، در حالی که معمولاً کشاورزان برای نیمسال دوم سال، در زمین مورد نظر، محصولات دیگری را نیز کشت می نمایند که گاهی اوقات، الگوها و محصولات کشت شده در نیمسال اول، بر روی الگوها و محصولات مدنظر جهت کشت در نیمسال دوم، تأثیرگذار خواهد بود. لذا پیشنهاد می گردد در انجام مطالعات آتی، برنامه ریزی جهت تعیین الگوهای کشت محصولات کشاورزی، در قالب دو نیمسال مد نظر قرار گیرد تا از زمین کشاورزی و منابع موجود، بتوان در طول یک سال به طور بهینه استفاده نمود.

سپاسگزاری

از خانواده محترم آزادزاده (مالکان، کشاورزان و تصمیم گیرندگان اصلی در شرایط مختلف مسأله) که در مراحل مختلف تحقیق، مشارکت و همکاری صمیمانه‌ای داشته‌اند، تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

1- Asadpour H., Khalilian S., and Peykani Gh.R. 2005. Theory and application of linear goal programming in croppingpattern optimization. Journal of Agricultural Economics and Development, Efficiency and Productivity: 307-328. (in Persian with English abstract).
2- Raei Jadidi M., and Sabouhi M. 2010. Agricultural planning using by a fuzzy multi objective planning model. Journal of Sustainable Agriculture, 2(1): 11-22. (in Persian with English abstract)
3- Kohansal M.R., and Mohammadian F.2007. Application of fuzzy goal programming in determining the optimal pattern for cropping. Journal of Economics and Agriculture, 1(2): 169-183. (in Persian with English abstract)
4- Mardani M.R., Babaei M., and Asemani A. 2013. Determining the optimal pattern for agriculture. Operations Research and Applications, 1(36): 67-77. (in Persian with English abstract).
5- Biswas, A., and Pal B.B. 2005. Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system. The International Journal of Management Science, 33(5): 391-398.
6- Charnes A., and Cooper W.W. 1961. Management models and industrial application of linear programming. John Wiley & Sons. Inc. New York.
7- Chen, H. K. 1994. A note on a fuzzy goal programming algorithm by Tiwari, Dharmar and Rao. Fuzzy Sets and Systems, 62 (2): 287-290.
8- Gomez J.A., and Risog L. 2004. Irrigation water pricing: differential impacts on irrigated farms. Agricultural Economic. 31(1): 47-66.
9- Hannan E.L. 1982. Contrasting fuzzy goal programming and fuzzy multi-criteria programming. Decision Sciences, 13(2): 337-339.
10- Ignizio J.P. 1982. On the rediscovery of fuzzy goal programming. Decision Sciences, 13(2): 331-336.
11- Itoh T., Ishii H., and Nanseki T. 2003. A model of crop planning under uncertainty in agricultural management. International Journal of Production Economics, 81-82: 555-558.
12- Kim J.S. and Whang K. 1998. A tolerance approach to the fuzzy goal programming problems with unbalanced

triangular membership function. European Journal of Operational Research, 107(4): 614–624.
13- Kuhn H.W., and Tucker A.W. 1951. Nonlinear programming. Proceeding of the second Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, J. Neyman, Ed. University of California press. Berkeley, U.S.A.
14- Narasimhan R. 1981. On fuzzy goal programming: Some comments. Decision Sciences, 12(3): 532-538.
15- Romero C. 1991. Handbook of critical issues in goal programming. Pergamon Press, Oxford.
16- Rubin P.A., and Narasimhan, R. 1984. Fuzzy goal programming with nested priorities. Fuzzy Sets and Systems, 14 (3): 115-129.
17- Sarker R.A., and Quaddus M.A. 2002. Modelling a nationwide crop planning problem using a multiple criteria decision making tool. Computers and Industrial Engineering, 42(2): 541-553.
18- Sharma D.K., Jana R.K., and Guar A. 2007. Fuzzy goal programming for agricultural land allocation problems. Yugoslav Journal of Operational Research, 17(1): 31-42.
19- Tiwari R.N., Dharmar S., and Rao J.R. 1986. Priority structure in fuzzy goal programming. FuzzySets and Systems, 19(3): 251-259.
20- Tzeng G.H. 2003. Multiple–objective decision–making in the past, present and future. Journal of Da-yeh University, 12(2): 1-8.
21- Wheeler B.M., and Russell J.R.M. 1977. Goal programming and agricultural planning. Operational Research Quarterly, 28(1): 21-32.
22- Yu P.L. 1973. A class of solution for group decision problems. Management Science, 19(8): 936-946.
23- Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control, 8: 338-353.
24- Zimmermann H.J. 1985. Application of fuzzy set theory to mathematical programming. Information Science, 34(1): 29-58.